

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ VE  
UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Halenur SOYSAL**

**Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Semra BORAN**

**Şubat 2014**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ VE  
UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Halenur SOYSAL**

**Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

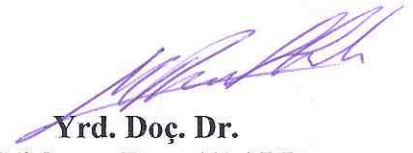
**Bu tez 17 / 02 /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.**



**Doç. Dr.  
Semra BORAN  
Jüri Başkanı**



**Doç. Dr.  
Bayram TOPAL  
Üye**



**Yrd. Doç. Dr.  
Mehmet Rıza ADALI  
Üye**

## **TEŞEKKÜR**

Tez çalıőmam boyunca her tŸrlŸ zorlukta yardımlarını ve desteğini benden esirgemeyerek yŸksek lisansımı tamamlamama katkı sağlayan değerli danıőmanım Sayın Doç. Dr. Semra BORAN'a teőekkŸrlerimi sunarım. Tezin uygulama kısmında veri desteği sağlayarak yardımcı olan Isılsan Makine Sanayi Şirketi'ne teőekkŸrlerimi sunarım. Ayrıca tŸm okul hayatım boyunca bana her zaman gŸvenen ve desteğini eksik etmeyen aileme de en içten teőekkŸrlerimi sunarım.

Halenur SOYSAL

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY .....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
YÖNTEMLER.....	4
2.1. Kontrol Diyagramları.....	4
2.1.1. Kontrol dışı durumlar.....	5
2.1.2. Kontrol diyagramı çeşitleri .....	6
2.1.2.1. $\bar{x} - R$ kontrol diyagramları.....	6
2.2. Süreç Yeterlilik Analizi .....	8
2.2.1. Süreç yeterlilik analizi teknikleri .....	10
2.2.2. Normal dağılıma uygunluk testleri .....	11
2.2.3. Doğal tolerans limitleri .....	11
2.2.4. Kontrol limitleri .....	12
2.2.5. Spesifikasyon limitleri .....	12
2.2.6. Süreç yeterlilik indisleri.....	13
2.2.6.1. $C_p$ süreç yeterlilik indisi.....	14
2.2.6.2. $C_{pk}$ süreç yeterlilik indisi.....	16
2.3. Bulanık Mantık .....	17

2.3.1. Bulanık sayılar .....	19
2.3.1.1. Üçgen bulanık sayı.....	20
2.3.1.2. Yamuk bulanık sayı.....	21
2.3.2. Bulanık sayıları karşılaştırma yöntemleri .....	23
BÖLÜM 3.	
BULANIK X-ORTALAMA VE R KONTROL DİYAGRAMINI ESAS ALAN	
BULANIK SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ MODELİ.....	
3.1. Bulanık Kontrol Diyagramları ve Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi.....	24
3.1.1. Bulanık $\bar{\tilde{x}} - \tilde{R}$ kontrol diyagramları.....	27
3.1.2. Bulanık süreç yeterlilik analizi .....	35
3.1.2.1. Süreç yeterliliği için bulanık kural metodu.....	37
BÖLÜM 4.	
UYGULAMA .....	
4.1. Şirket Profili.....	40
4.2. Ürün Bilgisi.....	40
4.3. Bulanık $\bar{\tilde{x}} - \tilde{R}$ Diyagramlarıyla Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi .....	41
4.4. Geleneksel $\bar{x} - R$ Diyagramlarıyla Süreç Yeterlilik Analizi.....	46
4.5. Geleneksel ve Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi Karşılaştırma.....	50
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	
5.1. SONUÇ.....	52
KAYNAKLAR .....	
5.2. ÖZGEÇMİŞ .....	54
5.3. ÖZGEÇMİŞ .....	57

## KISALTMALAR LİSTESİ

ADTL	: Alt doğal tolerans limiti
AKL	: Alt kontrol limiti
ASL	: Alt spesifikasyon limiti
KÜY	: Kusurlu ürün yüzdesi
MBKÜ	: Milyon başına kusurlu ürün
MÇ	: Merkez çizgisi
ÜBS	: Üçgen bulanık sayısı
ÜDTL	: Üst doğal tolerans limiti
ÜKL	: Üst kontrol limiti
ÜSL	: Üst spesifikasyon limiti
YBS	: Yamuk bulanık sayısı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tipik kontrol diyagramı .....	8
Şekil 2.2. Normal dağılım doğal tolerans genişliği.....	11
Şekil 2.3. Kontrol limitleri .....	12
Şekil 2.4. Spesifikasyon limitleri .....	13
Şekil 2.5. Sürecin değişik genişlikleri için $C_p$ indisleri.....	15
Şekil 2.6. Bir üyelik fonksiyonunun kısımları .....	19
Şekil 2.7. ÜBS üyelik fonksiyonu.....	21
Şekil 2.8. YBS üyelik fonksiyonu .....	22
Şekil 3.1. Süreç kontrolü ÜBS için Kural-1.....	31
Şekil 3.2. Süreç kontrolü ÜBS için Kural-2.....	32
Şekil 3.3. Süreç kontrolü ÜBS için Kural-3,4.....	33
Şekil 3.4. Süreç kontrolü ÜBS için Kural-5.....	34
Şekil 3.5. Süreç yeterliliği ÜBS için Kural-1 .....	38
Şekil 3.6. Süreç yeterliliği ÜBS için Kural-2.....	38
Şekil 3.7. Süreç yeterliliği ÜBS için Kural-3.....	39
Şekil 4.1. Anderson-Darling normallik testi .....	42
Şekil 4.2. $\bar{x}$ -R diyagramları .....	48
Şekil 4.3. Süreç yeterlilik analizi .....	49

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. $\bar{x}$ -R kontrol diyagramları için sabitler .....	8
Tablo 2.2. Normal dağılmış süreçlerin milyon başına kusurlu ürün oranları.....	16
Tablo 2.3. Süreç yeterlilik indisleri için önerilen minimum değerler .....	17
Tablo 4.1. Vites kolu boy uzunluğu için ölçüm değerleri .....	41
Tablo 4.2. Vites kolu boy uzunluğu için ÜBS olarak gözlem değerleri.....	43
Tablo 4.3. Ortalama ve değişim aralığı değerleri .....	44
Tablo 4.4. $\bar{x}$ ve R değerleri .....	47
Tablo 4.5. Geleneksel ve bulanık süreç yeterlilik analizi karşılaştırması .....	50



## ÖZET

Anahtar kelimeler: Süreç yeterlilik analizi, kontrol diyagramları, bulanık kurallar, üçgen bulanık sayılar

Süreç yeterlilik analizi, son yıllarda birçok işletme tarafından kullanılan, müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için sürecin yeteneğini değerlendiren bir istatistiksel süreç kontrol tekniğidir. Bu analiz ile sürecin potansiyel ve gerçek yeterliliği belirlenir. Ürünlerin spesifikasyonları karşılayıp karşılamadığı araştırılır. Süreç yeterlilik analizi, istatistiksel kontrol altında olan süreçlere uygulanmaktadır. Kararsız ve kontrol altında olmayan süreçlerin gelecekteki yeterliliği doğru şekilde yorumlanamaz. Sürecin kontrol altında olup olmadığını tespit etmek için kontrol diyagramları kullanılır. Kontrol diyagramları ile grafik üzerinde kontrol dışı noktalar açıkça görülebilir.

Gözlemlerin ve spesifikasyon limitlerinin dilsel ifadeler içerdiği veya kesin değerler olarak ifade edilemediği durumlarda bulanık küme teorisi kullanılır. Bulanık sayılar hem kontrol durumlarında hem de yeterlilik analizinde daha esnek ve detaylı bilgi sağlar.

Bu tez çalışması ile bulanık kontrol diyagramları kullanılarak bulanık süreç yeterliliğinin analizi amaçlanmıştır. Bu amaçla bulanık gözlem değerlerine sahip bir sürecin öncelikle bulanık mantıkla sonrasında geleneksel yöntemlerle analizi yapılmış, sonuçları karşılaştırılmıştır. Sürecin kontrolü ve yetenek analizi yapılırken bulanık kurallar kullanılmıştır. Sonuç olarak, bu bulanık tabanlı çalışma geleneksel kontrol diyagramı ve yeterlilik analizine göre daha çok bilgi içeren, daha esnek ve detaylı analiz sağlamıştır.

# **FUZZY PROCESS CAPABILITY ANALYSIS AND AN APPLICATION**

## **SUMMARY**

Key words: Process capability analysis, control charts, fuzzy rules, triangular fuzzy numbers

Process capability analysis, which has been used in recent years by many industries to assess the ability of a process to meet customer needs, is a statistical process control technique. With this analysis potential and actual capabilities of the process are determined and whether or not products meet the specification limits is researched. Process capability analyses are applied to processes which are in statistical control. Future capabilities of instable and out of control processes cannot be estimated correctly. Control charts are used to test whether the process is in control or out of control. Out of control points can be clearly seen on a plot with control charts.

When measurements and specification limits have linguistic definitions or cannot be defined with crisp numbers, fuzzy sets theory is used. Fuzzy numbers provide more flexible and deep information both in control cases and in capability analyses.

It is aimed to analyze fuzzy process capability by using fuzzy control charts with this thesis. For this aim, a process that has fuzzy measurements is firstly analyzed with fuzzy logic and then with traditional methods, and results of both studies are compared with each other. Some fuzzy rules are used in controlling the process and analyzing capability of the process.

In conclusion, this fuzzy-based study provides more flexible and deep analyses with more information than traditional control charts and capability analyses.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Son yıllarda, gelişen teknolojiyle beraber evrensel rekabet ortamı büyümüş, işletmeler açısından daha tehditkar bir unsur olmaya başlamıştır. Küresel boyuttaki rekabete uyum sağlamanın tek yolu ise müşteri memnuniyetini ve devamlılığını sağlamaktan geçmektedir. Şirketlerin zorlu rekabet ortamındaki başarısını sağlayıp yerini koruyabilmesi için yüksek kaliteli, düşük maliyetli, hızlı, müşterinin istediği spesifikasyonlarda üretim yapması gerekir. Gelişen ve yenilenen ürün ve hizmet çerçevesinde ürün çeşitliliği ve müşteri bilinci artmakta, buna bağlı olarak da müşteri istek ve beklentileri de artış göstermektedir. Tüketicinin değişken ve gelişen isteklerine cevap verebilmek ise şirket içerisinde sürekli gelişim ve iyileştirmeye sağlanabilir. Şirketlerin kaliteyi artırmaya yönelik çaba göstermeleri, bu amaçla şirket organizasyonunu, üretim süreçlerini ve kalite sistemlerini geliştirmeleri gerekir. Bu unsurları tasarlarırken, düzeltici faaliyetler yerine önleyici faaliyetleri benimseyerek süreci kurmalı, kalite kontrolde önleyici tedbirlerle muhtemel sorunları henüz oluşmadan sistemden kazınmalıdır. Şirketlerin ve ekonominin gelişiminde kalite geliştirme ve iyileştirme tekniklerinin payı çok büyüktür. Müşterinin istediği spesifikasyonlarda üretim yapabilmek için, şirketlerin kurdukları süreçleri sürekli kontrol etmesi ve yüksek performanslı istikrarlılık sağlaması gerekir. Bu amaçla, örnekleme yapılarak periyodik ölçümlerle kalitenin sürekli izlenmesi ve kontrolüne yardımcı olan istatistiksel süreç kontrol teknikleri geliştirilmiştir. Bu istatistiki tekniklerle, süreç çıktılarının değişkenlikleri, sürecin istenen spesifikasyonları karşılama yeteneği ve performansı ölçülebilir. Bir süreçteki değişkenlik doğal nedenlerle ya da özel nedenlerle ortaya çıkmış olabilir. Doğal nedenler, her süreçte olabilen, etkileri çok belirgin olmayıp belli bir duruma bağlı olmayan ve önlenmesi çoğu zaman mümkün olmayan nedenlerdir. Özel nedenler ise, belirsiz bir kaynaktan oluşur, ne zaman ortaya çıkacağı kestirilemez. İstatistiksel süreç kontrolü değişimin özel nedenlerini ortadan kaldırarak süreci sürekli kontrol altında tutmayı amaçlar.

Devamlı istatistiksel kontrol altında olan bir süreçten beklenen istenen spesifikasyonlarda üretim sağlamasıdır. Ürünleri, üretildikten sonra muayene edip ürünün kalitesine karar vermek büyük maliyetlere sebep olacağı için, ürünün ilk seferinde doğru ve kaliteli şekilde üretiminin sağlanması gerekir. Bunu sağlayabilmek için de, şirketin bütün birimlerini kalite geliştirmeye dahil eden bir organizasyon geliştirilmeli, sürecin devamlı kontrolüyle süreçte değişkenliğe neden olan sebeplerin azaltılması gerekmektedir. Süreci izleyip süreçteki değişkenlikleri tespit etmenin bir yolu kontrol diyagramlarıdır. Kontrol diyagramları, belirli karakteristikler için belirli bir zaman aralığında rastgele seçilmiş örneklem gruplarının incelenmesiyle genel süreç durumunun yorumlanmasına olanak verir. Örneklem gruplarının ana kütle içerisindeki değişimleri izlenerek, sürecin kararlılığı ve istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı belirlenir. Süreçte özel nedenlerle meydana gelen kontrol dışı noktalar grafik üzerinde gözlemlenebilir, bu noktaların kontrol dışı olma nedenleri araştırılıp bir daha ortaya çıkmaması için gerekli tedbirler alınır.

İstatistiksel süreç kontrolüyle kararlı ve kontrol altında olan bir sürecin performansı ve gelecekteki durumu hakkında tahminler yapılabilir. Sürecin değişkenliğini ölçmede, istenen spesifikasyonlarda üretim sağlamada sürecin potansiyel ve gerçek yeteneği süreç yeterlilik analizi ile ölçülebilir. Süreç yeterlilik analizi, bir bakıma istenen spesifikasyonlarla sürecin doğal değişkenliği arasındaki ilişkinin derecesidir. Sürecin istenen spesifikasyonları karşılamadaki yeterliliğidir. Üretim süreçlerinde istenen, spesifikasyonlara uygun düşük hatalı ürün oranlarıyla üretimin sağlanmasıdır. Süreç yeterliliği bu özellikleri karşılayabilmek için sürecin ne kadar değişkenlik gösterdiğini özetleyen bir yöntemdir. Süreç yeterlilik analizi yapılırken sürecin yeterliliği süreç yeterlilik indisleriyle özetlenir. Bu indislerin istatistiki sonuçları süreç hakkında yeterli ya da yetersiz yorumunu yapmamıza olanak verir. Sürecin yeterli denebilmesi için, analizin başında belirlenen süreç yeterlilik değerine göre sürecin geleceği hakkında kararlar alınır, gerekli düzenleme ve iyileştirmeler yapılır. Sürecin gelecekteki durumu hakkında yorum yapabilmek için sürecin istikrarlı olması gerekir. Kararsız süreçten belirli oranlarda performans göstermesi beklenemez.

İşletmelerde her bir süreçten çıkan parçaların kalite kontrolü yapılırken, ölçüm sisteminden ya da işçi faktöründen kaynaklanan bazı ölçüm hataları olabilmektedir. Sürecin performans ve yeteneğinin analizi yapılırken, bu ölçüm hataları dikkate alınarak gözlem verilerinin bulanık ifade edilmesi analizin yapılmasında bazı sıkıntılara yol açabilmektedir. Bulanık ifadelerden kaynaklanan sıkıntıyı gidermek amacıyla uzun yıllardır bulanık küme teorisi kullanılmaktadır. Bulanık küme teorisi kontrol diyagramlarına ve süreç yeterlilik indislerine uygulandığında daha etkin, daha hassas ve daha esnek sonuçlar verdiği görülmüştür. Süreç kontrolü bulanık mantık ile bilgi kaybı olmadan daha esnek limitlerle gerçekleştirilir, kontrol dışı olması muhtemel noktalar da bulanık sayılar yardımıyla görülebilir. Süreç yeterliliği, esnek spesifikasyon limitleri ve varyans sayesinde daha hassas ve detaylı şekilde analiz edilebilir. Böylece geleneksel yöntemlerdeki gibi analiz tek bir sonuç vermeyecek, olması muhtemel değerleri de içerecektir. Genelde bulanık analiz, literatürdeki çalışmalarda bulanık değerlerin temsili değerlere dönüştürülmesiyle ya da sürecin performans kararının kalite uzmanlarının yorumuna bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmedeki belirsizlik, sürecin yeteneği hakkında karar verilmesini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, süreç yeterlilik değerlendirmesi için geliştirilmiş olan bulanık kurallar yardımıyla literatürdeki eksiklik kapatılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında süreç yeterlilik analizi, kontrol diyagramları ve bulanık mantık kavramından yararlanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde tezin yazılmasında kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Bu bölüm altında kontrol diyagramlarından, süreç yeterlilik analizinden, analizin yorumlanmasında kullanılan yeterlilik indislerinden, bulanık mantık yaklaşımından bahsedilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde kontrol diyagramlarının ve süreç yeterlilik analizinin bulanık yaklaşım içerisinde değerlendirilmesi anlatılmıştır. Bu bölüm altında süreç kontrolü ve yeterlilik analizi için kullanılan bulanık kurallara değinilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde geleneksel kontrol diyagramlarıyla süreç yeterlilik uygulaması ve bulanık tabanlı kontrol diyagramlarıyla bulanık süreç yeterlilik analizi uygulamaları yapılmıştır. Çalışmanın beşinci bölümünde ise bu çalışmadan elde edilen sonuçlar anlatılmış ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

## **BÖLÜM 2. YÖNTEMLER**

Bu bölümde, geleneksel ve bulanık süreç yeterlilik analizi konulu çalışma kapsamında yapılacak olan uygulamaya yönelik olarak kullanılacak yöntemlerden bahsedilecektir. Öncelikle kontrol diyagramları ve bu diyagramları oluşturabilmek için gerekli olan adımlardan, sonrasında süreç yeterlilik analizi ve analiz için gerekli olan karakteristiklerden bahsedilecektir. Son kısımda ise süreç yeterlilik analizinin daha detaylı ve esnek yapılabilmesi için kullanılacak sistematik olan bulanık mantık ve bulanık sayılar anlatılacaktır.

### **2.1. Kontrol Diyagramları**

Gittikçe artan tüketici ihtiyaçları ve buna paralel olarak genişleyen üretim hacmi, muayeneye dayalı bir denetim sisteminin uygulanmasını kimi zaman olanaksız, kimi zaman da yüksek maliyetli kılmaya başlayınca istatistik temelli yeni arayış ve çözümler gündeme geldi (Özdemir, 2000). İlk gelişme Shewhart'ın (1926) kalite kontrol diyagramlarını geliştirmesiyle olmuştur. Shewhart sürecin kontrol edilebilen ve edilemeyen değişmelerini görebilmek amacıyla grafiksel bir yöntem olan kontrol diyagramlarını geliştirmiştir. Bu diyagramlar sayesinde sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı incelenebilmektedir. Literatürde kontrol diyagramlarından kontrol şemaları, kontrol çizelgeleri, kontrol grafikleri olarak da bahsedilir.

İstatistiksel süreç kontrolü, üretimi yapılan ürünün önceden belirlenmiş spesifikasyonlara uygun üretim yapılıp yapılmadığının kontrolüdür. Bunu sağlamak için de istatistiksel kalite kontrol araçları kullanılır, kontrol diyagramları da bunlardan biridir. Kontrol diyagramlarında kullanılan veriler belirli ve eşit zaman aralığında alınmış örneklemelerdir. Diyagramlar üzerinde bu örneklemelerin süreç içinde nasıl davrandıkları gözlemlenmektedir. Süreçte ani değişiklikler, süreçten

farklılıklar görüldüğü takdirde bunun nedenleri araştırılıp süreçte herhangi bir değişiklik yapıp yapılmayacağı sorgulanır. Süreçte değişikliğe sebebiyet verebilecek bazı nedenler vardır. Bunlardan ilki “doğal – tesadüfiliğe bağlı nedenler” dir. Bunlar sürecin doğasında bulunan ve şanstın ileri gelen nedeni tespit edilemeyen faktörlerden oluşan farklılıklardır. Sürecin yapısından kaynaklanır. Varlığı veya yokluğu ürün kalitesinde pek fark yaratmaz. Çevre, operatör, malzeme yapısı gibi nedenlerdir. Değişikliğe sebebiyet verebilecek diğer nedenler ise “doğal olmayan - özel nedenler” dir. Bunların varlığı üretilen ürünlerin kalitesini etkiler. Önceden tahmin edilemezdir. Bu değişkenlik kontrol grafiklerinde noktaların kontrol limitlerinin dışına düşmesiyle anlaşılır. Tespit edilip düzeltilmeleri çok fazla çaba gerektirmez. Ekipmandaki hasar, hammaddedeki değişkenlik gibi nedenlerdir (Özdemir, 2000).

### 2.1.1. Kontrol dışı durumlar

Kontrol grafiklerinde sürecin kontrol dışı olarak nitelendirilebilmesi için temelde kullanılan dört durum vardır. Bunlar; herhangi bir noktanın kontrol limitlerinin dışına çıkmasını, ani değişimleri, periyodik değişimleri ve art arda sıralanmış noktaların artan veya azalan eğilim göstermesini (trend) esas alır.

Western Electric sürecin kontrol dışında olduğunu gösteren bir grup kural tanımlamıştır (Montgomery, 2009);

- a. En az bir noktanın  $\pm 3\sigma$  kontrol limitlerinin dışına düşmesi
- b. Ardışık üç noktadan ikisinin  $\pm 2\sigma$  uyarı limitlerinin ötesinde yer alması
- c. Ardışık beş noktadan dört tanesinin  $\pm 1\sigma$  uyarı limitlerinin dışında ya da orta çizginin ötesinde yer alması
- d. Ardışık sekiz noktanın merkez çizgisinin bir tarafında yer alması

Bu kurallara ek olarak daha hassas kontrol sağlaması amacıyla kullanılan başka kurallar da bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, yedi ya da daha fazla ardışık noktanın artan veya azalan şekilde görülmesi, yedi ya da daha fazla tekrarlayan noktanın bulunması, merkez çizgisi etrafında sıralanmış ardışık on beş noktanın bulunmasıdır.

### 2.1.2. Kontrol diyagramı çeşitleri

Kontrol diyagramları ölçülebilen ve ölçülemeyen değişkenlere göre farklılaşmaktadır.

Ölçülebilen (niceliksel) değişkenler için kontrol diyagramları, müşteri isteği kalınlık, ağırlık, uzunluk gibi nicel bir veri ise kullanılırlar. Bu diyagramlar örneklem büyüklüğüne göre en çok bilinen ve kullanılan yöntemler olarak  $\bar{x} - R$  ve  $\bar{x} - S$  olarak farklılaşırlar. Örneklem büyüklüğü 10'dan küçükse  $\bar{x} - R$  diyagramları 10'dan büyükse  $\bar{x} - S$  diyagramları kullanılır.

Ölçülemeyen (niteliksel) değişkenler için kontrol diyagramları, renk, çizik, çatlak gibi ölçüme uygun olmayan süreçlerde ya da kalite özelliklerinin herhangi bir ölçü birimine ait olmadığı, ürünün kusurlu-kusursuz olarak sınıflandırıldığı süreçlerde kullanılır. Ölçülemeyen değişkenler için kontrol diyagramları kusur sayısı ve kusurlu sayısına göre ayrılan 4 diyagramdan oluşmaktadır. Kusur sayısı bir ürünün üzerinde meydana gelmiş olan kusur adedini, kusurlu sayısı ise süreçte meydana gelen kusurlu ürün adedini belirtmektedir. Kusurlu sayısına göre ayrılan kategoride  $p$  (kusurlu oranı) kontrol diyagramı ve  $np$  (kusurlu sayısı) kontrol diyagramları bulunmaktadır. Kusur sayısına göre ayrılan kategoride ise  $c$  (kusur sayısı) kontrol diyagramı ve  $u$  (birim başına kusur sayısı) kontrol diyagramı bulunmaktadır. Bunların dışında literatürde Cusum (kümülatif toplam), EWMA (üstel ağırlıklı hareketli ortalama) gibi kontrol şemaları da geliştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında  $\bar{x} - R$  kontrol diyagramlarının kullanılması sebebiyle bir sonraki bölümde yalnızca bu diyagramdan bahsedilecektir.

#### 2.1.2.1. $\bar{x} - R$ kontrol diyagramları

Kontrol diyagramları süreçteki değişkenliğin azaltılması ve sürecin istatistiksel kontrol altında olup olmadığının kontrolü için geliştirilmiş diyagramlardır.  $\bar{x}$  diyagramı belirli bir zaman aralığında süreçteki her bir örneklemin ortalamasının ana kütle ortalaması içerisindeki değişimlerinin gözlenmesinde kullanılır.  $R$  değişim



aralığı diyagramıdır ve her bir örneklemin içindeki en büyük ve en küçük değerlerin farkının ana kütle aralık ortalamasına göre değişiminin izlenmesinde kullanılır.

$\bar{x} - R$  kontrol diyagramları, kalite karakteristiğinin ortalamasını oluşturan bir merkez çizgi (MÇ) ile sürecin sınırlarını belirten alt kontrol limiti (AKL) ve üst kontrol limitinden (ÜKL) oluşur. Süreçten alınan herhangi bir örneklem bu limitlerin dışına çıktığında süreç kontrol dışındadır.

$\bar{x}$  diyagramı için kontrol limitleri;

$$\text{ÜKL} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \quad (2.1)$$

$$MÇ = \bar{\bar{x}} \quad (2.2)$$

$$AKL = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \quad (2.3)$$

$R$  diyagramı için kontrol limitleri;

$$\text{ÜKL} = \bar{R}D_4 \quad (2.4)$$

$$MÇ = \bar{R} \quad (2.5)$$

$$AKL = \bar{R}D_3 \quad (2.6)$$

$$\mu = \bar{\bar{x}} \quad (2.7)$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.8)$$

$\bar{x}$ : örneklemdaki ölçümlerin ortalaması

$\bar{\bar{x}}$ : ortalamaların ortalaması

$R$ : değişim aralığı (örneklem içindeki en büyük-en küçük ölçüm değeri farkı)

$\bar{R}$ : aralıkların ortalaması

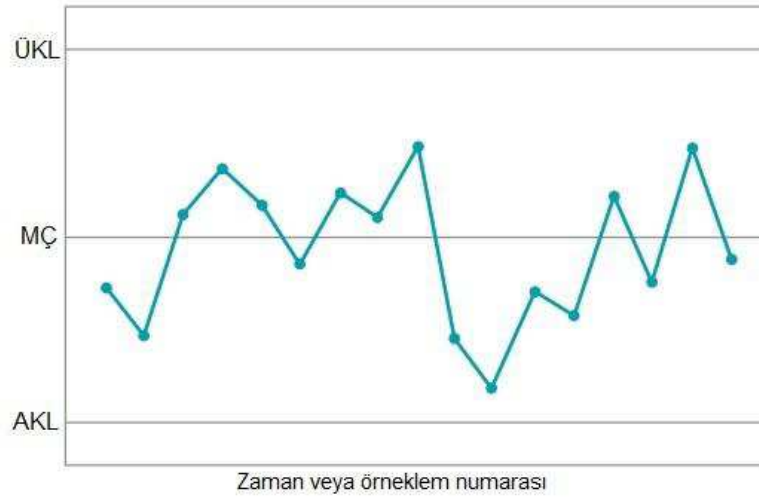
$\mu$ : ana kütle ortalaması

$\sigma$ : standart sapma

$A_2, D_3, D_4, d_2$ : kontrol diyagramı sabitleri

Denklem (2.8) ile standart sapma,  $\bar{x} - R$  kontrol diyagramından alınan verilerle örneklem grupları esas alınarak yaklaşık olarak tahmin edilir.

Tüm hesaplamalar yapıldıktan sonra limitler grafiğe eklenerek kontrol diyagramı oluşturulabilir. Tipik bir kontrol diyagramı Şekil 2.1.'deki gibidir.



Şekil 2. 1. Tipik kontrol diyagramı (Montgomery, 2009)

Tablo 2.1. kontrol diyagramlarında kullanılan sabitlerin örneklem büyüklüğüne göre aldıkları değerleri göstermektedir.

Tablo 2. 1.  $\bar{x}$ -R kontrol diyagramları için sabitler (Montgomery, 2009)

$n$	$A_2$	$D_3$	$D_4$	$d_2$
2	1.880	0.000	3.267	1.128
3	1.023	0.000	2.574	1.693
4	0.729	0.000	2.282	2.059
5	0.577	0.000	2.114	2.326
6	0.483	0.000	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.970
10	0.308	0.223	1.777	3.078

## 2.2. Süreç Yeterlilik Analizi

Kararlı ve kontrol altında olan bir sürecin üretim performansını ve yeteneğini tanımlama yollarından birisi süreç yeterlilik analizidir. Üretim sürecinde ürünlerin

önceden tanımlanmış olan spesifikasyonlar arasında üretilmesi istenir. Süreç yeterlilik analizi ile sürecin istenen spesifikasyonları karşılama yeterliliği ve sürecin doğal değişkenliği ölçülmüş olur. Amaçlanan, sürecin devamlı olarak istenen seviyede üretim yapmasını sağlayarak çıktı değişmezliği elde etmektir. Süreç yeteneği, bir sürecin sağlayabildiği en az kalite değişkenliği olarak tanımlanabilir (Özdemir, 2000). Süreç yeteneği süreç yeterlilik indisi adı verilen istatistiki değerlerle özetlenir. Bu indisler aracılığıyla sürecin spesifikasyonları karşılama oranı, ürünlerin spesifikasyonlar arasında düzenli şekilde dağılıp dağılmadığı yorumlanabilir.

Dağılımı normal dağılıma uyan veya benzeyen bir sürecin etkili ve doğru şekilde yeterliliğinin ölçülebilmesi için sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olması gerekir. Kararlılık veya sürecin istatistiksel kontrolü süreç yeterlilik indislerinin doğru tercüme edilmesinde önemli rol oynar. Süreç kontrol altında değilse, parametreler de sabit olmayacaktır ve bu parametrelerin gelecekteki değerleri de belirsiz olacaktır (Montgomery, 2009).

Süreç yeterlilik analizini yaparken öncelikle analizi yapılacak karakteristikler belirlenmeli, parametreleri tanımlanmalıdır. Bu karakteristiklerin analizinde kullanılacak olan verilerin ölçüm birimleri ve sistemi belirlenerek ölçü aletlerinin doğruluğu ve uygunluğu onaylanmalıdır. Sonrasında seçilen karakteristikler için yeterli miktarda ölçümler yapılır. Sürecin kontrol altında olup olmadığının tespiti için, analizi yapılan karakteristiklere uygun kontrol diyagramları seçilir. Süreç kontrol altında değilse kontrol dışına çıkan noktalar bulunarak elimine edilir. Bu noktaların büyük değişime sebebiyet veren özel nedenleri bulunup gerekli geliştirmeler yapılır. Daha sonra yeniden sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı araştırılır. Sürecin kontrol altında olduğu belirlendikten sonra gözlem değerlerinin normal dağılıp dağılmadığının belirlenmesi gerekir.

Veriler normal dağılmıyorsa, normalleştirme işlemleri yapılarak verilerin normal dağılıma benzeyen şekilde dağılması sağlanır. Süreçten alınan gözlemlerin belirlenen spesifikasyonları karşılayıp karşılamadığı, süreç hakkında özet istatistikler veren yeterlilik indisleri aracılığıyla incelenir. Spesifikasyonlar karşılanıyorsa sürecin

beklenen kusurlu ürün oranları tahmin edilir, karşılanmıyorsa değişkenliğin nedenleri araştırılıp gerekli iyileştirmeler yapılır. Sonrasında ise sürecin sürekli izlenmesi gerekir. Bu şekilde süreç devamlı olarak kontrol altında tutularak kararlılık sağlanmış olur.

### 2.2.1. Süreç yeterlilik analizi teknikleri

Süreç yeterlilik analizi;

- a. Histogram,
- b. Olasılık grafikleri,
- c. Kontrol grafikleri,
- d. Deney tasarımı

gibi kalite tekniklerinden faydalanılarak yapılabilir.

Histogramlar yardımıyla güvenilir bir süreç yeterlilik analizinin yapılabilmesi için en azından 100 veya daha fazla gözlem verisinin elde edilmiş olması gerekir (Montgomery, 2009). Histogramlar sayesinde ürünler gruplandırılarak spesifikasyon sınırları arasında nasıl dağıldıkları görülebilir. Normal dağılmayan süreçlerin ise normalleştirilmesi yapılarak süreç yeterliliği incelenmelidir.

Olasılık grafiği, histogram gibi sürecin dağılımını gösteren bir tekniktir. Gözlemlerin kümülatif bir dağılım çizgisi boyunca nasıl yayıldığını, nerede öbekleştiğini, ne genişliğe dağıldığını gösterir. Olasılık grafiği histogramın aksine daha düşük gözlem verisiyle de çalışabilir.

Kontrol grafiklerinin işleyişi, histogram ve olasılık grafikleri gibi değildir. Histogram ve olasılık grafikleri, sürecin performansını verilerin dağılım şekline bakarak yorumlarken sürecin kontrol altında olup olmadığını araştırmaz, kontrol grafikleri ile sürecin kontrol altında olup olmadığı incelenir, süreçteki değişkenliğin azaltılması ve çıktı değişmezliği hedeflenir.

Deney tasarımı, sürecin incelenen kalite karakteristiğine etki eden kontrol edilebilir değişkenlerin değerlerini sistematik olarak değiştirerek süreç performansını

etkileyecek değişken değerlerini belirlemede kullanılan bir tekniktir (Montgomery, 2009). Deney Tasarımı, süreç değişkenlerinin kaynağının tanımlanmasıyla ve süreçteki değişkenliğin azaltılmasıyla sürecin optimizasyonunu sağlayarak yeterlilik değerinin iyileştirilmesine olanak verir.

### 2.2.2. Normal dağılıma uygunluk testleri

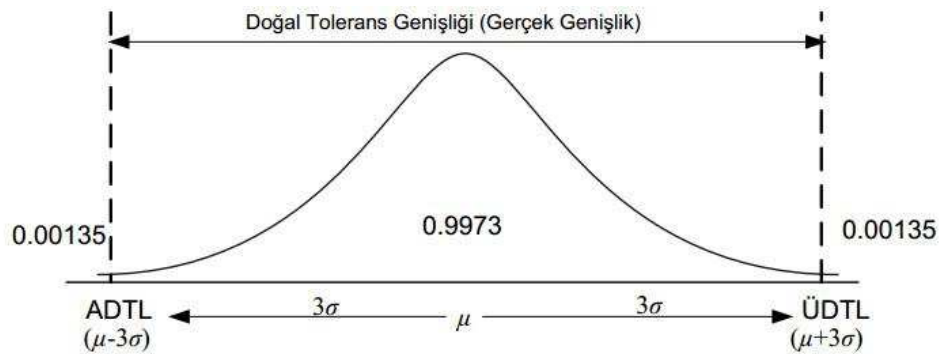
Yeterli veriye sahip bir sürecin normal dağılıma uygunluğunun test edilmesinde kullanılan birçok hipotez testleri vardır. Bunlardan en çok bilinenler, Anderson-Darling testi, Ki-kare uygunluk testi, Kolmogorov-Smirnov testi, Shapiro-Wilk testi ve Lilliefors normallik testidir. Bu çalışma kapsamında destek alınan Minitab 16 programında Anderson-Darling normallik testi uygulanacaktır.

### 2.2.3. Doğal tolerans limitleri

Doğal tolerans limitleri sürecin doğal değişkenliğini ifade etmektedir. Doğal tolerans limitleri, verilerin normal dağıldığı kabul edilirse süreç ortalamasından  $\pm 3\sigma$  uzaklıktadır. Şekil 2.2. ortalaması  $\mu$  ve standart sapması  $\sigma$  olan normal dağılıma sahip bir süreci ve bu sürecin doğal tolerans limitlerini göstermektedir. Bu sürecin üst doğal tolerans limitleri (ÜDTL) ve alt doğal tolerans limitleri (ADTL) aşığıdaki gibidir:

$$\text{ÜDTL} = \mu + 3\sigma \quad (2.9)$$

$$\text{ADTL} = \mu - 3\sigma \quad (2.10)$$

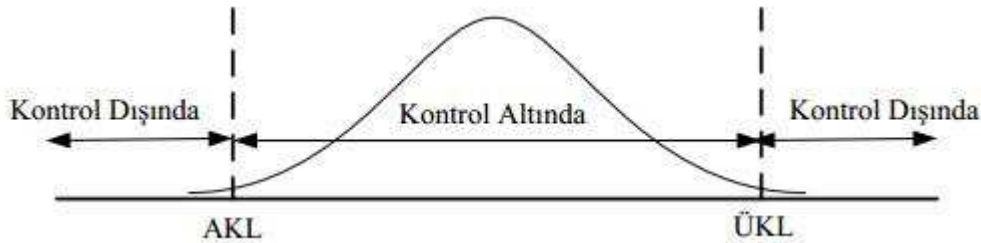


Şekil 2. 2. Normal dağılım doğal tolerans genişliği (Kaya, 2010)

Normal dağıldığı bilinen bir sürecin çıktılarının yaklaşık %99.73'ünün doğal tolerans limitleri dahilinde kalması, yaklaşık %0.27'sinin ise tolerans limitlerinin dışına düşmesi beklenir. Bu oran milyon başına 2700 uygunsuz ürün anlamına gelmektedir. Uygunsuz ürün yüzdesi çok düşük gibi görünse de kaliteyi daha yüksek seviyede tutmak isteyen firmalar için bu oran yetersiz gelmektedir. Daha düşük hata oranıyla mükemmelle ulaşmayı hedefleyen 6 sigma yaklaşımı, yüksek kalite amacı taşıyan firmalar için uygun bir metodolojidir. 6 sigma yaklaşımıyla hedeflenen milyonda 3.4'ten daha az hatalı ürün ile müşteri ihtiyaçlarını kusursuza yakın karşılamaktır.

#### 2.2.4. Kontrol limitleri

$\bar{x} - R$  diyagramlarının kontrol limitleri ana kütlelen alınan örneklerden hesaplanır. Sürecin istatistiksel kontrol altında olup olmadığının tespitinde kullanılırlar. Alt kontrol limiti (AKL) ve üst kontrol limiti (ÜKL) vardır. Süreçten alınan her bir örneklem için kontrol durumu örneklem bu limitlerin dışına çıkıp çıkmamasına göre belirlenir. Eğer örneklem değeri AKL ve ÜKL arasında ise süreç kontrol altındadır, aksi halde süreç kontrol dışındadır. Şekil 2.3. bu durumu özetlemektedir.



Şekil 2. 3. Kontrol limitleri (Kaya, 2010)

#### 2.2.5. Spesifikasyon limitleri

Spesifikasyon limitleri üretimi yapılan ürünün belirli bir özelliğinin izin verilen aralıkta olup olmadığının tespitinde kullanılır, önceden tanımlıdır. Ürünün alt spesifikasyon limiti (ASL) ve üst spesifikasyon limiti (ÜSL) vardır. Ürünlerin bu spesifikasyon limitleri arasında üretilmesi istenmektedir. Spesifikasyon limitlerinin dışında üretilmiş olan ürünler kusurlu (uygunsuz) olarak adlandırılır (Şekil 2.4.).

Genellikle spesifikasyon limitleri ve kontrol limitleri karıştırılmaktadır. Kontrol limitlerinin spesifikasyon limitlerinden daha dar toleranslı olması gereklidir. Bu yüzden bir süreç kontrol altında olmadığı halde spesifikasyonları karşılayabilir. Sürecin doğal tolerans limitlerinin (gerçek süreç genişliği) de spesifikasyon limitlerinden (izin verilen süreç genişliği) daha dar genişliğe sahip olması gerekir. Kontrol diyagramları sayesinde örnekler kontrol limitleri ve spesifikasyonlara çok yaklaştığı zaman grafik üzerinde bu görülebilir ve buna göre önlem alınması gerekir.



Şekil 2. 4. Spesifikasyon limitleri (Kaya, 2010)

### 2.2.6. Süreç yeterlilik indisleri

Süreç yeterlilik indisleri, sürecin yeteneğinin en basit ve istatistiki şekilde yorumlanmasında en uygun yoldur. Dağılımı normal olan veya normale benzeyen bir sürecin yeterliliğinin incelenmesinde,  $C_p$  (potansiyel) ve  $C_{pk}$  (gerçek) yeterlilik indisleri kullanılır. Bu indisler sürecin spesifikasyonları ne oranda kullandığını gösterir. Literatürde  $C_p$  ve  $C_{pk}$  indisleri dışında  $C_{pm}$ ,  $C_{pmk}$ ,  $C_a$  gibi süreç yeterlilik indisleri de bulunmaktadır.

Kane (1986) sürecin potansiyel  $C_p$  ve gerçek yeterlilik indislerini  $C_{pk}$  tanımlamış, farklı değerlerdeki kusurlu ürün oranlarını değerlendirmiş ve uygulamalarla açıklamıştır.

Chan vd. (1988) ortalama ve hedef değerini karşılaştıran  $C_{pm}$  süreç yeterlilik indisini geliştirmişlerdir.  $C_{pm}$  süreç standart sapması çok büyük olduğu durumlarda hedef değerden sapmaları görebilmek için oluşturulmuştur, Taguchi indeksi olarak da geçer.  $C_{pm}$  indisi,  $C_p$  ve  $C_{pk}$ 'dan daha hassas sonuçlar verir.

$$C_{pm} = \frac{\bar{U}SL - ASL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (2.11)$$

$$T = \frac{\bar{U}SL - ASL}{2} \quad (2.12)$$

Pearn vd. (2001), süreç ortalaması hedef değerden sapma gösterdiğinde bu sapmanın ölçüsünü daha hassas şekilde ortaya koyabilen  $C_{pmk}$  indisini geliştirmişlerdir.  $C_{pmk}$  indisi,  $C_p$ ,  $C_{pk}$  ve  $C_{pm}$  indislerini bir arada barındırır.

$$C_{pmk} = \frac{\min\{\bar{U}SL - \mu, \mu - ASL\}}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (2.13)$$

Pearn vd. (1998), süreç ortalamasının, hedef değere olan uzaklığına göre sürecin performansını ölçebilen  $C_a$  süreç doğruluk indisini tanıtmışlardır.  $k$  indeksi, süreç ortalamasının merkez nokta ( $m$ )'dan sapmasının bir ölçütüdür.

$$k = \frac{|\mu - m|}{\frac{\bar{U}SL - ASL}{2}} \quad (2.14)$$

Bu indislerden en sık kullanılanları  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $C_{pm}$  ve  $C_{pmk}$ 'dir. Bu çalışma kapsamında  $C_p$  ve  $C_{pk}$  indisleri kullanılacağı için bir sonraki kısımda yalnızca bu indislerden bahsedilecektir.

### 2.2.6.1. $C_p$ süreç yeterlilik indisi

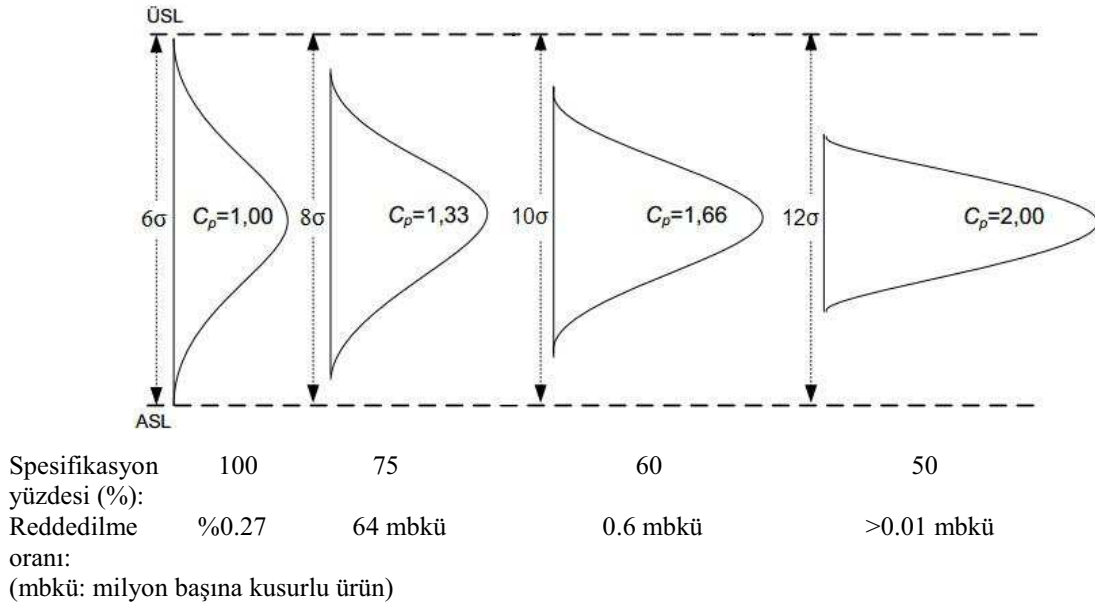
$C_p$  indisi sürecin sadece yayılımını kontrol eder, yani sürecin potansiyel yeterliliğini ölçer. Sürecin doğal yayılımının spesifikasyon limitleri üzerindeki etkisini gösterir.  $C_p$  indisi sürecin hedeflenen değerini hesaba katmadan sürecin yeterliliğini ölçer. Bu bakımdan çift yönlü spesifikasyona sahip süreçlerde, ürün değişkenliğinin spesifikasyonları eşit şekilde sağlayıp sağlamadığı ve sürecin merkezlenmesi anlaşılabilir. Denklem (2.15) sürecin potansiyel yeterliliğinin hesaplanmasında kullanılır. ÜSL ve ASL spesifikasyon limitlerini belirtirken,  $6\sigma$  ile sürecin yayılımı veya aralığı tanımlanır. Örnekleme farklılığı ve makine kontrol sınırlamalarından dolayı genellikle en düşük  $C_p$  değeri olarak 1.00 kullanılmaz.  $C_p = 1.00$  olduğu zaman spesifikasyon limitlerinin genişliği kontrol limitlerinininkine eşit olmuş olur (Kane, 1986). Birçok uygulamanın kritikliği ve süreç ortalamasının spesifikasyon genişliğinin orta noktasında sürekliliğini sağlayamayacak olması devam eden



süreçler için  $C_p$  değerinin en düşük 1.33 olmasını gerektirmiştir (Juran & Godfrey, 1999).

$$C_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6\sigma} \quad (2.15)$$

Şekil 2.5. iki yönlü spesifikasyona sahip bir sürecin  $C_p$  değerlerinin süreç genişliği ile süreç spesifikasyon limitleri arasındaki ilişkinin değişik değerleri için nasıl farklılaştığını göstermektedir. Grafikten de anlaşıldığı gibi sürecin yayılımı daraldıkça sürecin değişkenliği spesifikasyon limitlerinden uzaklaşır, kusurlu üretim oranı gittikçe azalır, yeterlilik değeri de buna bağlı olarak artar.



Şekil 2. 5. Sürecin değişik genişlikleri için  $C_p$  indisleri (Kane, 1986)

İki yönlü spesifikasyon limitlerine sahip ve normal dağılan bir süreç için, spesifikasyonları sağlayamayan kusurlu ürünlerin yüzdesi (KÜY) Denklem (2.16)'da verildiği gibi hesaplanır.  $\Phi(\cdot)$  ifadesi standart normal dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonunu temsil etmektedir (Tsai & Chen, 2006) (Kaya & Kahraman, 2010).

$$KÜY = \Phi\left(\frac{\text{ASL} - \mu}{\sigma}\right) + \left[1 - \Phi\left(\frac{\text{ÜSL} - \mu}{\sigma}\right)\right] \quad (2.16)$$

Tablo 2. 2. Normal dağılmış süreçlerin milyon başına kusurlu ürün oranları (Montgomery, 2009)

Süreç Yeterlilik Oranı	Tek yönlü spesifikasyonlar	Çift yönlü spesifikasyonlar
0.25	226,628	453,255
0.50	66,807	133,614
0.60	35,931	71,861
0.70	17,865	35,729
0.80	8,198	16,395
0.90	3,467	6,934
1.00	1,350	2,700
1.10	484	967
1.20	159	318
1.30	48	96
1.40	14	27
1.50	4	7
1.60	1	2
1.70	0.17	0.34
1.80	0.03	0.06
2.00	0.0009	0.0018

Tablo 2.2. süreç yeterlilik oranlarına göre tek yönlü ve çift yönlü spesifikasyonlara sahip süreçlerin kusurlu ürün oranlarını detaylı olarak göstermektedir.

### 2.2.6.2. $C_{pk}$ süreç yeterlilik indisi

$C_{pk}$  indisi sürecin hem yayılımını hem de süreç ortalamasının hedef değerden sapmasını kontrol etmektedir.  $C_{pk}$  indisi sürecin spesifikasyonlar arasında gerçekleşen performansını Denklem (2.17-2.19) yardımıyla özetler.  $C_{pl}$  ASL'deki yeterliliği ve  $C_{pu}$  ÜSL'deki yeterliliğini hesaplayarak sürecin spesifikasyon limitleri ortasında merkezlenip merkezlenmediğini belirler. Çoğu süreçlerde sürecin spesifikasyonların tam orta noktasında merkezlenmesi çok zordur, ancak yine de sürecin merkezden kayması en az olacak şekilde üretim sağlanmalıdır. Süreç yeterlilik analizi yapılırken sürecin potansiyel yeterliliğini gösteren  $C_p$  ile sürecin gerçekleşen yeterliliğini gösteren  $C_{pk}$  indisleri beraber değerlendirilirler.

$$C_{pl} = \frac{\mu - ASL}{3\sigma} \quad (2.17)$$

$$C_{pu} = \frac{ÜSL - \mu}{3\sigma} \quad (2.18)$$

$$C_{pk} = \min\{C_{pl}, C_{pu}\} \quad (2.19)$$

Kararlı ve iyi bir sürecin yeterlilik hesaplamasında  $C_p = C_{pk}$  olması gerekir. Bu eşitlik sürecin spesifikasyonları aynı oranda kullandığını ve spesifikasyonların ortasında merkezlendiğini gösterir (Kane, 1986).  $C_{pk} < C_p$  olduğunda ise sürecin ortalamasının merkezlenmediği anlaşılır.

Tablo 2.3. süreç yeterlilik indisleri için önerilen minimum değerleri göstermektedir. Güvenlik, güç veya kritik parametreler, analizi yapılan ürünün güvenlik, güç gibi parametrelerinin yeterliliğidir.

Tablo 2. 3. Süreç yeterlilik indisleri için önerilen minimum değerler (Montgomery, 2009)

	İki yönlü spesifikasyonlar	Tek yönlü spesifikasyonlar
Mevcut süreçler	1.33	1.25
Yeni süreçler	1.50	1.45
Güvenlik, güç veya kritik parametreler-Mevcut süreç	1.50	1.45
Güvenlik, güç veya kritik parametreler-Yeni süreç	1.67	1.60

### 2.3. Bulanık Mantık

Bulanık mantık kavramı ilk kez, California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A. Zadeh'in 1965 yılında, bulanık küme kuramı adı altında makalelerini yayınlamasıyla bilim dünyasına girmiştir. O tarihten itibaren belirsizliklerle çalışması için geliştirilmiş olan bulanık mantığın önemi gittikçe artmış ve bilimin her alanında kullanılmaya başlanmıştır. Zadeh'e göre bulanık kümeler kesin sınırları olmayan belirsizlik ifade eden kümelerdir. Bir kümedeki üyelikler klasik mantıktaki gibi kabul veya reddetme şeklinde gerçekleşmez, her üyeliğin o kümeye ait bir derecesi vardır.

Klasik kümelerde kümenin elemanları karakteristik fonksiyonu  $\mu_A$  ile tanımlanırlar.  $x$  kümenin elemanıysa  $\mu_A(x) = 1$  üyeliği yoksa  $\mu_A(x) = 0$  değerini alır (Hanss, 2005).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2.20)$$

$$\mu_A(x): X \rightarrow \{0, 1\} \quad (2.21)$$

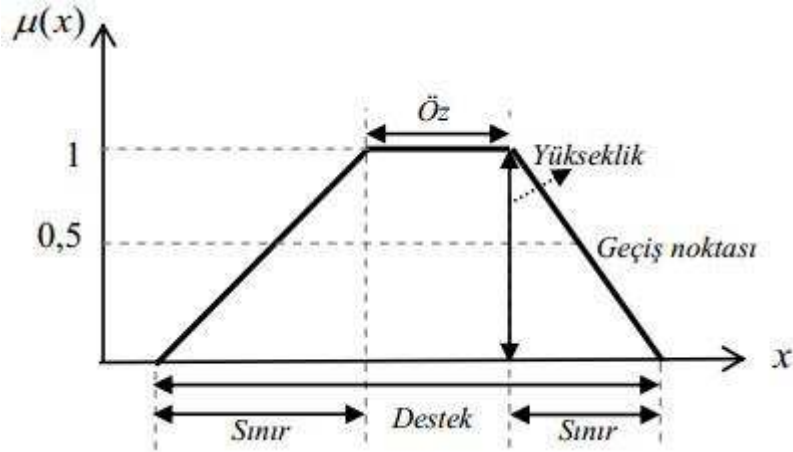
Klasik kümeler, evrensel küme içerisindeki her bir değerin karakteristik fonksiyonuna 0 ya da 1 olarak değer atadığı için klasik kümenin üyeleri ve üye olmayanları arasında ayırım yapılırken üzerinde düşünülmektedir (Klir & Yuan, 1995). Küme elemanlarını kümeye dahil edip etmeme konusunda oluşan bu sıkıntıyı gidermek için bulanık küme teorisi oluşturulmuştur.

Bulanık mantık klasik mantığın genişletilmiş halidir. Bulanık kümelerde her bir elemanın  $[0, 1]$  aralığında bir değeri vardır. Bu aralıkta aldıkları değerlere “üyelik fonksiyonu” denmektedir. Bulanık mantık evrensel kümedeki sayıların bulanık kümeye kısmi üyeliğine izin verir. Üyelik fonksiyonu 0, elemanın kümeye üyeliği olmadığını, 1 kümeye tam üye olduğunu belirtir. Aradaki değerler ise diğer elemanların kümeye olan üyeliğini derecelendirmektedir. Her bir elemanın yalnızca bir üyelik fonksiyonu vardır. Üyelik fonksiyonu sıfıra eşit olan elemanlar çoğu zaman bulanık küme içerisinde gösterilmezler.  $\mu_{\tilde{A}}(x)$   $x$  elemanının  $A$  bulanık kümesine ( $\tilde{A}$ ) olan üyelik derecesini gösterir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0, 1] \quad (2.22)$$

Bulanık kümeler bulanık şekilde ifade edilebilen dilsel değişkenlere göre oluşturulurlar. Örneğin “hava sıcaklığı 25 derece” kesin bir ifadeyken, “hava sıcaklığı 25 derece civarında”, “yaklaşık 25 derece” ifadeyi bulanıklaştırmaktadır. Başka bir örnekle, hava sıcaklığını belirtirken hava “sıcak” ya da “soğuk” ifadelerinin yanı sıra hava “ılık”, “serin” gibi bulanık, belirsiz ifadeler de kullanılır. Bu belirsiz ifadeler de bulanık kümenin ara değerlerini oluşturur.

Bir üyelik fonksiyonu öz, destek, sınırlar, yükseklik ve geçiş noktalarından oluşmaktadır. Şekil 2.6. tipik bir üyelik fonksiyonunun kısımlarını göstermektedir.



Şekil 2. 6. Bir üyelik fonksiyonunun kısımları (Ross, 2010)

Bir üyelik fonksiyonunun özü, bulanık kümede tam üyeliğe sahip olan, yani üyelik derecesi 1 olan elemanların oluşturduğu kısımdır. Bir üyelik fonksiyonun desteği, bulanık kümede tanımlı üyelik derecesi 0'dan büyük olan elemanların oluşturduğu kısımdır. Sınırları, üyelik derecesi 0'dan büyük olan fakat tam üyeliğe sahip olmayan elemanların oluşturduğu kısımdır. Geçiş noktaları, üyelik dereceleri 0.5'e eşit olan elemanların oluşturduğu kısımdır. Yükseklik, üyelik fonksiyonunun en büyük değerini aldığı noktadır (Ross, 2010).

Geometrik şekil ile gösterim açısından birçok farklı üyelik fonksiyonu bulunmaktadır. Ancak bunların içinde en çok tercih edilenler; üçgen, yamuk ve Gaussal üyelik fonksiyonlarıdır.

### 2.3.1. Bulanık sayılar

Gerçel sayılar kümesinde tanımlı olan bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları  $[0,1]$  aralığında tanımlıdır. Bu tür kümelere dahil olan sayılar bulanık sayılar olarak adlandırılır. Bulanık sayılar “verilen gerçel sayıya yakın sayılar”, “verilen gerçel sayı aralığı civarındaki sayılar” olarak ele alınırlar. Bu tarz ifade edilen değişkenler birçok uygulamada önemli rol oynarlar. Bunlardan bazıları bulanık kontrol, karar verme, yaklaşık çıkarsama, optimizasyon ve kesin olmayan olasılıklı istatistiktir. (Klir & Yuan, 1995)

$\mathbb{R}$ 'de tanımlı bir bulanık  $\tilde{A}$  kümesinin bulanık sayı olarak tanımlanabilmesi için, en az aşağıdaki üç şartı sağlaması gerekir: (Klir & Yuan, 1995)

- $\tilde{A}$  normal bir bulanık küme olmalıdır,
- $\tilde{A}$  her üyelik derecesi kesiminde kapalı aralık olmalıdır  $\alpha \in (0, 1]$
- $\tilde{A}$ 'nın destek kümesi sınırlı olmalıdır.

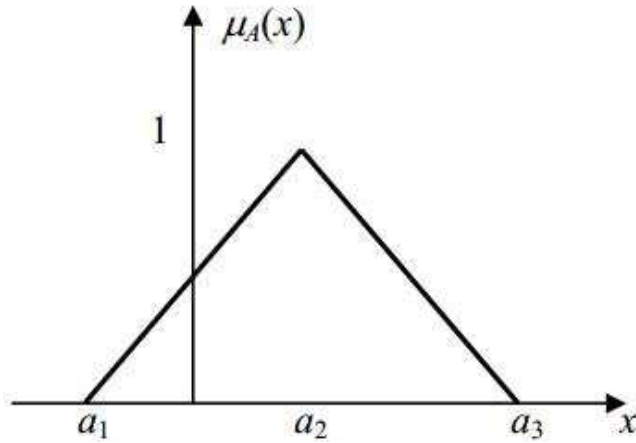
Bulanık sayılar farklı şekillerde bulunabilirler. Esasında üyelik fonksiyonu çeşidi kadar bulanık sayı çeşidi vardır, gösterimleri de aynı şekildedir. Bulanık sayılarda aritmetik işlemler de klasik kümelerdekine benzer şekilde yapılmaktadır, ancak kendine özgü aritmetik işlemler kullanırlar. Bu aritmetik işlemler belirsizliklerin modellenmesinde kullanılan olabilirlik dağılımlarına dayanan olabilirlik teorisini kullanmaktadır (Zadeh, 1999). Olabilirlik teorisinde bulanık değişkenler üzerinden işlemler yapılır, teori tam olarak ifade edilemeyen veya ölçülemeyen kişisel bilgileri içerir. Bulanık kümelerde aritmetik işlemlerin sonucunda elde edilen bulanık sayıların elemanları kümenin olabilir sonuçlarını vermektedir.

Bulanık sayılar çoğunlukla geometrik şekillerine göre adlandırılmıştır. En çok tercih edilen bulanık sayılar; üçgen ve yamuk bulanık sayılardır. Bunların dışında kullanılanlardan birkaçı ise Gaussal, L-R tipi, quadratic, quasi-gaussian, eksponansiyel ve quasi-eksponansiyel bulanık sayılardır.

### 2.3.1.1. Üçgen bulanık sayı

Birçok bulanık sayı arasında en çok kullanılanı üçgen bulanık sayılardır (ÜBS). ÜBS  $A = (a_1, a_2, a_3)$  şeklinde üç nokta ile gösterilen bir bulanık sayıdır. Bu sayının üyelik fonksiyonu Denklem (2.23)'teki şekilde hesaplanır ve üyelik fonksiyonunun gösterimi Şekil 2.7.'deki gibidir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 < x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2.23)$$



Şekil 2. 7. ÜBS üyelik fonksiyonu  $A=(a_1, a_2, a_3)$  (Lee, 2005)

$A=\text{ÜBS}(a_1, a_2, a_3)$ ,  $B=\text{ÜBS}(b_1, b_2, b_3)$  olsun.  $a_1 \geq b_3$  olmak kaydıyla üçgen bulanık sayılarda işlemler;

i. Toplama

$$A(+ )B = (a_1, a_2, a_3)(+ )(b_1, b_2, b_3) = \text{ÜBS}(a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (2.24)$$

ii. Çıkarma

$$A(- )B = (a_1, a_2, a_3)(- )(b_1, b_2, b_3) = \text{ÜBS}(a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (2.25)$$

iii. Bölme

$$A(\div )m = \text{ÜBS}(a_1, a_2, a_3)(\div )m = \text{ÜBS}\left(\frac{a_1}{m}, \frac{a_2}{m}, \frac{a_3}{m}\right) \quad (2.26)$$

$$A(\div )B = (a_1, a_2, a_3)(\div )(b_1, b_2, b_3) = \text{ÜBS}\left(\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1}\right) \quad (2.27)$$

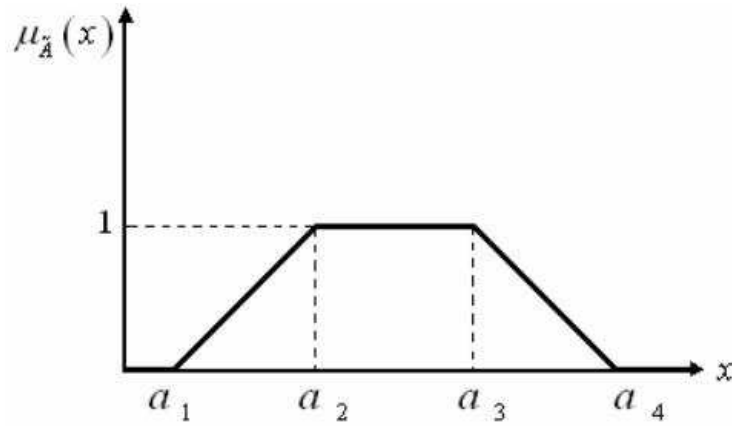
iv. Çarpma

$$A(. )B = \text{ÜBS}(a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3) \quad (2.28)$$

### 2.3.1.2. Yamuk bulanık sayı

ÜBS'lerden sonra en çok kullanılan ikinci bulanık sayı türleri yamuk bulanık sayılardır (YBS). YBS  $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  şeklinde 4 noktadan oluşan bir bulanık sayıdır. Birden fazla üyelik derecesi 1'e eşit olan noktası vardır. YBS üyelik fonksiyonu Denklem (2.29)'daki şekilde tanımlanır ve gösterimi Şekil 2.8.'deki gibidir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (2.29)$$



Şekil 2. 8. YBS üyelik fonksiyonu  $A=(a_1, a_2, a_3, a_4)$  (Lee, 2005)

$A=YBS(a_1, a_2, a_3, a_4)$ ,  $B=YBS(b_1, b_2, b_3, b_4)$  olsun, yamuk bulanık sayılarda işlemler;

i. Toplama

$$A(+ )B = (a_1, a_2, a_3, a_4)(+ )(b_1, b_2, b_3, b_4) = YBS(a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \quad (2.30)$$

ii. Çıkarma

$$A(- )B = (a_1, a_2, a_3, a_4)(- )(b_1, b_2, b_3, b_4) = YBS(a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1) \quad (2.31)$$

iii. Bölme

$$A(\div )m = YBS(a_1, a_2, a_3, a_4)(\div )m = YBS\left(\frac{a_1}{m}, \frac{a_2}{m}, \frac{a_3}{m}, \frac{a_4}{m}\right) \quad (2.32)$$

$$A(\div )B = (a_1, a_2, a_3, a_4)(\div )(b_1, b_2, b_3, b_4) = YBS\left(\frac{a_1}{b_4}, \frac{a_2}{b_3}, \frac{a_3}{b_2}, \frac{a_4}{b_1}\right) \quad (2.33)$$

iv. Çarpma

$$A(. )B = YBS(a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3, a_4 b_4) \quad (2.34)$$



### 2.3.2. Bulanık sayıları karşılaştırma yöntemleri

Bulanık sayıları karşılaştırmak kesin değerli sayıları karşılaştırmaktan daha zordur. Bulanık sayılar arasında büyük-küçük karşılaştırması yapabilmek için durulaştırma işlemi kullanılarak yapılan birçok karşılaştırma yöntemi bulunmaktadır. Durulaştırma bulanık bir sayıyı kesin değerli bir sayıya indirgemektir. Bu karşılaştırma ve durulaştırma yöntemlerinden birkaçı şunlardır (Ross, 2010):

- a. Yuan yöntemi (1991),
- b. Tran & Duckstein yöntemi (2002),
- c. Kwong-Bai yöntemi (2003),
- d. Yükseklik yöntemi,
- e. Alan merkezi,
- f. Ağırlıklı ortalama,
- g. En büyüklerin ortalaması,
- h. Toplamların merkezi,
- i. En büyük alanın merkezi
- j. En büyüklerin ilki yöntemidir.

Durulaştırılan bulanık sayılar elde edilen sonuçlara göre sıralanırlar. Bu çalışma kapsamında Kwong-Bai durulaştırma yöntemi kullanılacaktır.

Bir üçgen bulanık sayı  $M = (a, b, c)$  şeklinde verilmiş olsun. Kwong-Bai durulaştırma işlemi şu şekilde yapılır;

$$M_d = \frac{a+4b+c}{6} \quad (2.35)$$

## **BÖLÜM 3. BULANIK X-ORTALAMA VE R KONTROL DİYAGRAMINI ESAS ALAN BULANIK SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ MODELİ**

### **3.1. Bulanık Kontrol Diyagramları ve Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi**

Kontrol şemalarının sürecin genel davranışını örnekleme esasına dayanarak göstermesi, süreçten alınan örneklerin çok hassas ölçü aletleriyle yapılamaması ya da ölçüm sonuçlarının işçi farklılıklarına göre değişmesi gözlem değerlerinin kesin olmayan yaklaşık değerler ifade etmesine sebep olacaktır. Bu “yaklaşık” değerler, geleneksel kontrol diyagramlarının (Shewhart, 1926), sürecin kontrol altında olduğunu belirlemesi açısından yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu yetersizliği gidermek amacıyla, bulanık küme teorisinin (Zadeh, 1965) kullanıldığı, daha hassas istatistiksel süreç kontrolü sağlayan bulanık kontrol diyagramları geliştirilmiştir. Son yıllarda geliştirilen bulanık kontrol diyagramları sayesinde geleneksel kontrol diyagramları kesin sınırlarından arındırılmıştır.

Literatürde, kontrol diyagramlarında bulanık küme teorisinin kullanıldığı birçok çalışma vardır. Bulanık kümeler teorisinin, kontrol diyagramlarında kontrol limitleri ve sürecin merkez çizgisi için dilsel değişkenler ile kullanılması Wang ve Raz (1990), ile önem kazanmıştır. Kanagawa (1993), hem süreç değişkenliğini hem de süreç ortalamasını kontrol etmeyi amaçlayan dilsel ifadeler içeren yeni bir kontrol diyagramı geliştirmiştir. Kahraman vd. (1995), süreci temsil eden tüm noktalar kontrol limitleri arasındayken sürecin kontrol dışı olma durumunu kontrol şemalarına üyelik dereceleri atayarak değerlendirmişlerdir. El-Shal ve Morris (2000), istatistiksel süreç kontrolü için bulanık kontrol algoritması geliştirmişlerdir. Gülbay ve Kahraman (2008), belirsizlik içeren dilsel veriler için bulanık kontrol diyagramlarını  $\alpha$ -kesim yaklaşımı kullanılarak geliştirmiş, durulaştırma işlemi gerektirmeyen “Direkt Bulanık Yaklaşım” geliştirmişlerdir. Güven aralığıyla  $\alpha$ -kesim yaklaşımı kullanılarak bulanık  $\tilde{x} - \tilde{R}$  ve  $\tilde{x} - \tilde{S}$  diyagramları Şentürk ve Erginel

(2009) tarafından geliştirilmiş, geleneksel kontrol diyagramlarını bulanık kontrol limitleri kullanarak daha esnek hale getirmişlerdir. Alizadeh ve Ghomi (2011), ortalama ve aralık diyagramlarını bulanık ortamda farklı dönüşüm metotları kullanarak geliştirmiş, dönüşüm metotlarını etkililik sırasına koymuşlardır. Kaya ve Kahraman (2011), bulanık sayıların kesin değerlere dönüşümünde oluşan bilgi kaybını önlemek amacıyla bulanık gözlem değerleri kullanarak geliştirdikleri bulanık kural yaklaşımıyla bulanık kontrolü sağlamışlardır.

Süreç yeterlilik indisleri, spesifikasyonların  $6\sigma$  süreç doğal yayılımı tarafından ne kadarının kullanıldığını gösterir. Ancak geleneksel süreç yeterlilik indisleri, süreçten alınan örneklerin, spesifikasyon limitlerinin ve varyansın bulanık değerler olduğu durumlarda daha detaylı ve esnek analiz konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu eksikliği gidermek amacıyla, süreç yeterlilik indisleri üzerinde bulanık küme teorisi geliştirilmiştir.

Literatürde de bulanık küme teorisinin kullanıldığı birçok yeterlilik indisi çalışmaları bulunmaktadır. Lee (2001), gözlem değerleri bulanık sayılarken bulanık yeterlilik indisi  $\tilde{C}_{pk}$ 'yi değerlendirmiştir. Parchami vd. (2005), spesifikasyon limitleri üçgen bulanık sayılarken bulanık süreç yeterlilik indislerini önermiş ve bulanık süreçleri karşılaştırmışlardır. Parchami vd. (2006),  $\tilde{C}_p$  süreç yeterlilik indisi için bulanık güven aralıklarını tanımlamışlardır. Parchami ve Mashinchi (2007), Buckley tarafından geliştirilen bulanık tahmin yaklaşımı üzerine bir algoritma geliştirmişlerdir. Chen ve Chen (2008), bulanık çıkarsama yöntemi kullanarak süreç yeterlilik indislerini incelemişlerdir. Kaya ve Kahraman (2008), Buckley'in tahmin yaklaşımını kullanarak spesifikasyon limitleri ve varyansın bulanık olması durumunda  $C_p$  ve  $C_{pk}$  indekslerini verecek üyelik fonksiyonlarını üçgen ve yamuk bulanık sayılar için elde etmişlerdir. Kaya ve Kahraman (2009), süreç yeterlilik indislerini bulanık altı sigma yaklaşımı çerçevesinde değerlendirmişlerdir. Chen vd. (2010),  $C_{pm}$  süreç yeterlilik indisini bulanık verilerle güven aralıkları kullanarak değerlendirmişlerdir. Kaya ve Kahraman (2010), süreç parametreleri arasında korelasyon olduğu zaman kullanılabilen gürbüz süreç yeterlilik indislerini önermişlerdir. Abdolshah vd. (2011),  $C_{pmk}$  süreç yeterlilik indisini bulanık verilerle güven aralıkları kullanarak değerlendirmiş, diğer bulanık yeterlilik indisleriyle sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Abdolshah (2013), Taguchi kayıp fonksiyonunu ve  $C_{pk}$  süreç yeterlilik indisini entegre etmiş, sonuçları bulanık olarak değerlendiren yeni bir Taguchi kayıp tabanlı bulanık süreç yeterlilik indisi geliştirmiştir.

Sürecin yeterlilik indislerinin bulanık olarak elde edilmesiyle, bu değerleri yorumlamada sıkıntı oluşturabilecek bazı durumlar söz konusudur. Bu durumlar, durulaştırma işlemiyle temsili değerler elde ederek bilgi kaybı oluşumu, farklı durulaştırma yöntemlerinin farklı sonuçlar vermesi, yeterlilik değerinin bulanık sayı genişliğinin büyük olması, bulanık yeterlilik değeri içerisinde hem yeterli hem yetersiz denebilecek değerler bulunmasıdır.  $ÜBS(a, b, c)$  ile gösterilen bulanık sayı genişliği içerisinde, yeterlilik sınırı olan 1.33 değerini aşan herhangi bir  $b$  ve/veya  $c$  değeri olabilir. Ancak aynı zamanda bu bulanık sayı, yapılan durulaştırma işlemine göre yeterlilik değeri olan 1.33'ü geçemeyebilir. Bu durumda analizi yapan kişi sürecin yeterliliğini yorumlamada güçlük çekecektir. Bu sıkıntıyı gidermek için, bu çalışma kapsamında süreç yeterliliği için yeni bulanık kurallar önerilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda çoğunlukla bulanık analiz, bulanık değerlerin temsili değerlere dönüştürülmesiyle gerçekleştirilmiştir, ya da sürecin yeterlilik kararı çalışmayı yapan kişi ve kalite uzmanlarının yorumuna bırakılmıştır. Bu çalışma, süreç yeterliliğinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş olan bulanık kurallar ile literatürdeki bu eksikliği gidermeye çalışmıştır. Bulanık süreç yeterlilik analizi yapılırken çalışmaya daha fazla esneklik katması açısından, ölçüm değerleri ve spesifikasyon limitleri üçgen bulanık sayılar olarak ifade edilmiştir. Sürecin kararlı ve kontrol altında olması süreç yeterlilik analizinin doğru şekilde yorumlanabilmesi için önkoşuldur. Bulanık gözlem değerlerine sahip süreçlerde kullanılan, bulanık kontrol limitleri olan bulanık kontrol diyagramlarının kullanımı bulanık süreç yeterlilik analizinde daha etkili ve doğru olacaktır.

Bu çalışmada kullanılan model iki aşamadan oluşmaktadır:

1. Bulanık  $\bar{x} - R$  kontrol diyagramları
2. Bulanık süreç yeterlilik analizi

Öncelikle sürecin kontrol altında olup olmadığı bulanık kontrol diyagramlarıyla belirlenecek, kontrol altında olan sürecin bulanık olarak yeterlilik analizi yapılacaktır.

### 3.1.1. Bulanık $\bar{x} - R$ kontrol diyagramları

Sürecin kontrol altında olup olmadığının tespitinde gözlem verilerinin bulanık ifadeler olması istatistiksel kontrolün sağlanmasında hassasiyet getirmişti. Son yıllarda geliştirilmiş olan bulanık kontrol diyagramları sayesinde geleneksel kontrol diyagramları kesin sınırlarından arındırılmıştır. İşçi farklılıkları, ölçü aletlerinin hassasiyeti, örneklemeye dayalı kontrol yapılması, gözlem değerlerinin yaklaşık ifadeler içermesini gerektirdiğinde bulanık kontrol diyagramları kullanılır.

Bulanık kontrol diyagramları oluşturulurken kontrol limitleri analize esneklik katması için bulanık olarak ifade edilecektir. Kontrol limitlerinin esnek olması süreç performansının kontrolünde de esneklik sağlayacaktır. Böylelikle limitlerin kesin ifadelerinden doğan hatalı kontrol sonuçlarına çözüm getirilmiş olur.

Gözlem değerleri bulanık olan süreçlerde alt grup büyüklüğü  $n$  olan örneklerin ortalamaları ve aralık değerleri Denklem (3.1-3.4)'teki gibi hesaplanır. Her bir alt grup için ayrı ayrı hesaplanan, alt grup büyüklüğü  $n$  olan,  $m$  adet  $\tilde{x}$  ve  $\tilde{R}$  değeri hesaplanacaktır.

- i. Öncelikle her bir gözlem  $(a, b, c)$  şeklinde üçgen bulanık sayılara dönüştürülür.
- ii. Her bir örneklem grubunun ortalama ve aralık değerleri Denklem (3.1-3.2) ile hesaplanır (Kaya & Kahraman, 2011).

$$\tilde{x} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n} \right) = \text{ÜBS}(o_1, o_2, o_3) \quad (3.1)$$

$$\tilde{R} = [(a_{max} - c_{min}), (b_{max} - b_{min}), (c_{max} - a_{min})] = \text{ÜBS}(g_1, g_2, g_3) \quad (3.2)$$

$(a_{max}, b_{max}, c_{max})$  değeri her bir örneklem grubunun içinde bulunan en büyük gözlem değerini,  $(a_{min}, b_{min}, c_{min})$  değeri ise her bir örneklem grubunun içinde

bulunan en küçük gözlem değerini göstermektedir. Ölçülen değerler arasında büyük-küçük kıyaslaması yapabilmek için bir bulanık sıralama yöntemi kullanılmak zorundadır.

- iii.  $m$  adet örneklem grubu incelendikten sonra sürecin genel ortalamaları Denklem (3.3-3.4) ile hesaplanacaktır (Kaya & Kahraman, 2011).

$$\tilde{\bar{x}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^m o_{1i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m o_{2i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m o_{3i}}{m} \right) = \text{ÜBS}(\mu_1, \mu_2, \mu_3) \quad (3.3)$$

$$\tilde{\bar{R}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^m g_{1i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m g_{2i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m g_{3i}}{m} \right) = \text{ÜBS}(\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3) \quad (3.4)$$

- iv. Sürecin genel ortalamalarının hesabından sonra sürecin istatistiksel kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi amacıyla  $\tilde{\bar{x}} - \tilde{\bar{R}}$  kontrol diyagramlarının kontrol limitleri hesaplanır (Denklem 3.5-3.11) (Kaya & Kahraman, 2011). Bu limitler hesaplanırken, alt grup büyüklüğüne bağlı olarak değişen geleneksel kontrol diyagramı sabitleri  $A_2, D_3, D_4$  kullanılmıştır (Tablo 2.1.).

$\tilde{\bar{x}}$  kontrol diyagramı için;

$$\begin{aligned} \widetilde{\text{ÜKL}}_{\bar{x}} &= \tilde{\bar{x}} + A_2 \tilde{\bar{R}} = (\mu_1 + A_2 \bar{r}_1, \mu_2 + A_2 \bar{r}_2, \mu_3 + A_2 \bar{r}_3) = \\ &\text{ÜBS}(\text{ÜKL}_{x_1}, \text{ÜKL}_{x_2}, \text{ÜKL}_{x_3}) \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\widetilde{\text{MÇ}}_{\bar{x}} = \tilde{\bar{x}} = (\mu_1, \mu_2, \mu_3) = \text{ÜBS}(\text{MÇ}_{x_1}, \text{MÇ}_{x_2}, \text{MÇ}_{x_3}) \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{\text{AKL}}_{\bar{x}} &= \tilde{\bar{x}} - A_2 \tilde{\bar{R}} = (\mu_1 - A_2 \bar{r}_3, \mu_2 - A_2 \bar{r}_2, \mu_3 - A_2 \bar{r}_1) = \\ &\text{ÜBS}(\text{AKL}_{x_1}, \text{AKL}_{x_2}, \text{AKL}_{x_3}) \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$(\text{AKL}_{x_1}, \text{AKL}_{x_2}, \text{AKL}_{x_3}) = \begin{cases} \text{AKL}_{x_1} = \begin{cases} \mu_1 - A_2 \bar{r}_3, & \text{Eğer } (\mu_1 - A_2 \bar{r}_3) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_1 - A_2 \bar{r}_3) < 0 \end{cases} \\ \text{AKL}_{x_2} = \begin{cases} \mu_2 - A_2 \bar{r}_2, & \text{Eğer } (\mu_2 - A_2 \bar{r}_2) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_2 - A_2 \bar{r}_2) < 0 \end{cases} \\ \text{AKL}_{x_3} = \begin{cases} \mu_3 - A_2 \bar{r}_1, & \text{Eğer } (\mu_3 - A_2 \bar{r}_1) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_3 - A_2 \bar{r}_1) < 0 \end{cases} \end{cases} \quad (3.8)$$

Bazı durumlarda, x-ortalama diyagramında AKL'nin sıfırın altında bulunduğu tecrübe edilmiştir, Denklem (3.8) bu durum gerçekleştiğinde AKL'nin ne alınması gerektiğini ifade etmektedir.

$\tilde{R}$  kontrol diyagramı için;

$$\widetilde{ÜKL}_R = \tilde{R}D_4 = (\bar{r}_1D_4, \bar{r}_2D_4, \bar{r}_3D_4) = \text{ÜBS}(\text{ÜKL}_{r_1}, \text{ÜKL}_{r_2}, \text{ÜKL}_{r_3}) \quad (3.9)$$

$$\widetilde{MÇ}_R = \tilde{R} = (\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3) = \text{ÜBS}(MÇ_{r_1}, MÇ_{r_2}, MÇ_{r_3}) \quad (3.10)$$

$$\widetilde{AKL}_R = \tilde{R}D_3 = (\bar{r}_1D_3, \bar{r}_2D_3, \bar{r}_3D_3) = \text{ÜBS}(AKL_{r_1}, AKL_{r_2}, AKL_{r_3}) \quad (3.11)$$

- v. Kontrol diyagramlarının sınır değerleri de hesaplandıktan sonra sürecin kontrol altında olup olmadığına bakılabilir. Süreç kontrol altında olduğu zaman sürecin yeterliliğinin analizine geçilebilir. Kontrol altında olmayan süreçlerde ise sorunun kaynakları tespit edilerek düzeltme yoluna gidilir. Gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra tekrar kontrol diyagramlarıyla sürecin istatistiksel kontrolü yapılır. Sürecin kontrol altında olduğuna karar verildikten sonra yeterlilik analizi yapılabilir.

Gözlem değerleri ve kontrol limitleri bulanık sayılar olarak ifade edildiğinde sürecin kontrol altında olup olmadığını durulaştırma işlemi yaparak belirlemek tam anlamıyla doğru bir kontrol sağlamayacaktır. Dönüşüm işlemi yapılırken bulanık sayıların içerdiği bazı bilgiler kaybolacaktır. Durulaştırmayla kaybedilen bilgiyi önlemek ve daha doğru kontrol yapabilmek için bazı kurallar geliştirilmiştir. Sürecin kontrolü için kullanılan kurallar “bulanık kural metodu” olarak adlandırılmıştır (Kaya & Kahraman, 2011).

Sürecin kontrol durumunun belirlenmesi için Kaya ve Kahraman'ın (2011) geliştirdiği bulanık kurallar kullanılır. Bu metot ÜBS'de her  $\tilde{x}$  ve  $\tilde{R}$  diyagramı için ayrı ayrı tanımlanan 5 kuraldan oluşmaktadır (Denklem 3.12-3.13).

$\tilde{x}$  diyagramı için kontrol kuralları:

$$C_{x_i} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } (o_{3i} \leq \ddot{ÜKL}_{x_1}) \wedge (o_{1i} \geq AKL_{x_3}) \\ 0, & \text{Eğer } (o_{1i} > \ddot{ÜKL}_{x_3}) \vee (o_{3i} < AKL_{x_1}) \\ 1 - \frac{(o_{3i} - \ddot{ÜKL}_{x_1})}{(o_{3i} - o_{1i})}, & \text{Eğer } (o_{3i} > \ddot{ÜKL}_{x_1}) \\ 1 - \frac{(AKL_{x_3} - o_{1i})}{(o_{3i} - o_{1i})}, & \text{Eğer } (o_{1i} < AKL_{x_3}) \\ \text{Min} \left\{ 1 - \frac{(o_{3i} - \ddot{ÜKL}_{x_1})}{(o_{3i} - o_{1i})}, 1 - \frac{(AKL_{x_3} - o_{1i})}{(o_{3i} - o_{1i})} \right\}, & \text{Eğer } (o_{3i} > \ddot{ÜKL}_{x_1}) \wedge (o_{1i} < AKL_{x_3}) \end{cases} \quad (3.12)$$

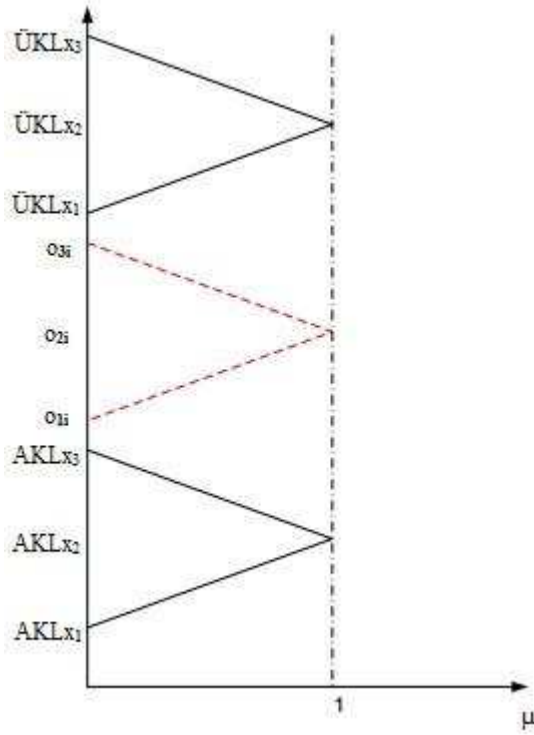
$\tilde{R}$  diyagramı için kontrol kuralları:

$$C_{r_i} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } (g_{3i} \leq \ddot{ÜKL}_{r_1}) \wedge (g_{1i} \geq AKL_{r_3}) \\ 0, & \text{Eğer } (g_{1i} > \ddot{ÜKL}_{r_3}) \vee (g_{3i} < AKL_{r_1}) \\ 1 - \frac{(g_{3i} - \ddot{ÜKL}_{r_1})}{(g_{3i} - g_{1i})}, & \text{Eğer } (g_{3i} > \ddot{ÜKL}_{r_1}) \\ 1 - \frac{(AKL_{r_3} - g_{1i})}{(g_{3i} - g_{1i})}, & \text{Eğer } (g_{1i} < AKL_{r_3}) \\ \text{Min} \left\{ 1 - \frac{(g_{3i} - \ddot{ÜKL}_{r_1})}{(g_{3i} - g_{1i})}, 1 - \frac{(AKL_{r_3} - g_{1i})}{(g_{3i} - g_{1i})} \right\}, & \text{Eğer } (g_{3i} > \ddot{ÜKL}_{r_1}) \wedge (g_{1i} < AKL_{r_3}) \end{cases} \quad (3.13)$$

$\tilde{x}$  ve  $\tilde{R}$  kontrol diyagramları için oluşturulan bu 5 kuralın grafiksel olarak gösterimleri Şekil (3.1.-3.4.)'teki gibidir. Bu grafikler hem  $\tilde{x}$  için hem  $\tilde{R}$  için kullanılacaktır.

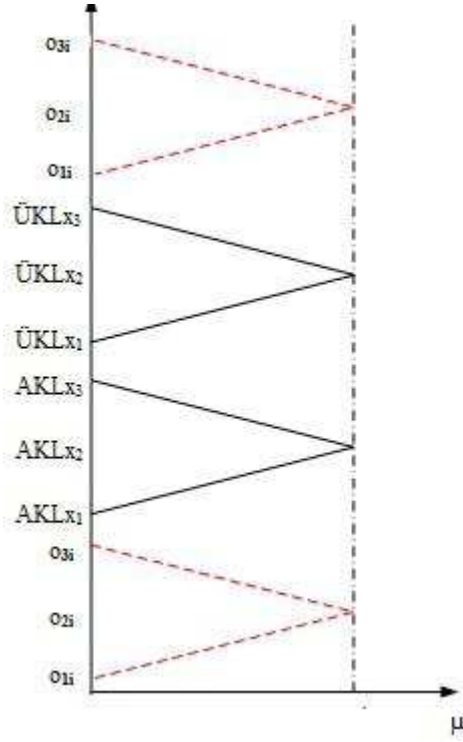


Kural-1'de alınan örneklerin  $\bar{x}$  ortalamalarının veya  $R$  değişim aralığı değerlerinin tümünün alt ve üst kontrol limitleri arasında olma durumu gösterilmiştir. Tüm örnekler limitler içinde kaldığı için Kural-1 sürecin kontrol altında olduğunu belirtmektedir (Şekil 3.1.).



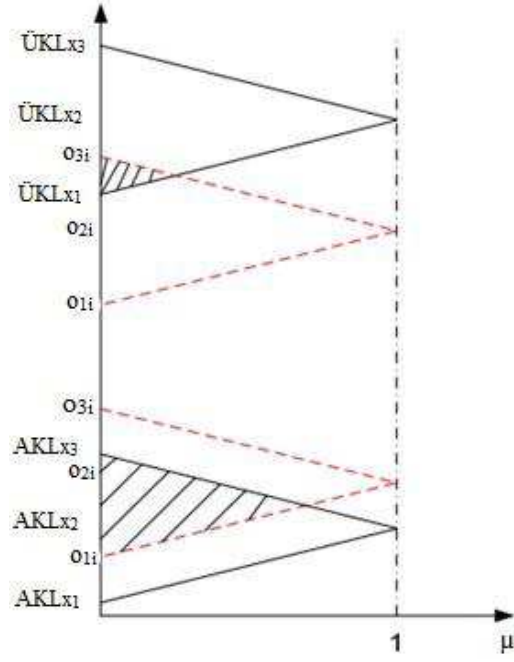
Şekil 3. 1. Süreç kontrolü ÜBS için Kural-1

Kural-2'de alınan herhangi bir örneğin  $\bar{x}$  ortalamalarının veya  $R$  değişim aralığı değerinin herhangi birinin alt veya üst kontrol limitlerinden birinin dışında bulunma durumu gösterilmiştir. Örneğin limitler dışında kalmasından dolayı bu kural sürecin kontrol dışında olduğunu belirtmektedir (Şekil 3.2.).



Şekil 3. 2. Süreç kontrolü ÜBS için Kural-2

Kural-3 ve 4'te alınan herhangi bir örneğin ortalama veya değişim aralığı değerinin bir kısmının alt veya üst kontrol limitlerinin dışında bulunması durumu gösterilmiştir. Bu kural, alınan örneğin limitler içinde kalan kısmının örneğin genel geniőliğine oranına göre sürecin kısmen kontrol altında olma veya kısmen kontrol dışında olma durumunu belirtmektedir (Şekil 3.3.).



Şekil 3. 3. Süreç kontrolü ÜBS için Kural-3,4



olması gerekmektedir. Sürecin “kısmen kontrol dışında” olması için de herhangi bir kontrol diyagramının kontrol durumu değerinin  $\beta$  değerinden küçük olması yeterlidir.

### 3.1.2. Bulanık süreç yeterlilik analizi

Bu çalışmada kullanılan modelin ikinci aşaması bulanık süreç yeterlilik analizidir. Bulanık süreç yeterlilik analizi yapılırken, daha detaylı bilgi sağlanması amacıyla bu çalışmayla geliştirilmiş bazı bulanık kurallar önerilmiştir.

Süreçten alınan gözlemlerin, varyansın ve spesifikasyon limitlerinin kesin olarak ifade edilemediği durumlarda geleneksel süreç yeterlilik indislerinin kullanılması doğru sonuçlar veremeyebilir. Çünkü geleneksel süreç yeterlilik indisleri kesin sayılarla çalışır ve sonucun esneklik payı yoktur. Sürecin analizinde, bu kesin sınırların giderilip esneklik katılması için bulanık süreç yeterlilik indisleri geliştirilmiştir. Gözlemler, spesifikasyon limitleri ve varyans yaklaşık değerler içerdiğinde bu indisler kullanılırlar.

- i. Öncelikle bulanık süreç yeterlilik indisi olan  $\tilde{C}_p$  değeri hesaplaması için gerekli olan alt ve üst spesifikasyon limitleri “civarında, yaklaşık” olarak tanımlanır ve bu yüzden limitler Denklem (3.15) ve (3.16)’daki gibi üçgen bulanık sayılar olarak ifade edilmiştir.

$$\tilde{USL} = \tilde{ÜBS}(u_1, u_2, u_3) \quad (3.15)$$

$$\tilde{ASL} = \tilde{ÜBS}(l_1, l_2, l_3) \quad (3.16)$$

- ii. Sürecin spesifikasyon limitleri ÜBS olarak belirlendikten sonra sürecin bulanık ortalaması ve standart sapması Denklem (3.17) ve (3.18)’deki gibi hesaplanır (Kaya & Kahraman, 2011). Standart sapma hesaplamasında kullanılan  $d_2$  değeri alt grup büyüklüğüne bağlı olarak belirlenen geleneksel kontrol diyagramı sabitidir (Tablo 2.1.).

$$\tilde{\mu} = \tilde{\bar{x}} = \tilde{ÜBS}(\mu_1, \mu_2, \mu_3) \quad (3.17)$$

$$\tilde{\sigma} = \frac{\tilde{R}}{d_2} = \left( \frac{\tilde{r}_1}{d_2}, \frac{\tilde{r}_2}{d_2}, \frac{\tilde{r}_3}{d_2} \right) = \text{ÜBS}(s_1, s_2, s_3) \quad (3.18)$$

- iii. Sürecin ortalama ve standart sapması ÜBS olarak ifade edildikten sonra  $\tilde{C}_p, \tilde{C}_{pk}, \tilde{C}_{pu}, \tilde{C}_{pl}$  süreç yeterlilik indislerinin hesaplanmasına geçilebilir. İndisler, Denklem (3.19-3.22)'deki formüller aracılığıyla hesaplanınca sonuçlar ÜBS olarak bulunmuş olacaktır (Kaya & Kahraman, 2011).

Sonuçların bulanık sayılar olarak elde edilmesi sürecin değerlendirilmesinde esneklik katacaktır. Elde edilen sonuçlardan yeterlilik indisinin alması mümkün olan en küçük değer, en çok beklenen değer ve alması mümkün olan en büyük değer görülebilir.

$$\tilde{C}_p = \frac{\tilde{USL} - \tilde{ASL}}{6\tilde{\sigma}} = \text{ÜBS} \left( \frac{u_1 - l_3}{6s_3}, \frac{u_2 - l_2}{6s_2}, \frac{u_3 - l_1}{6s_1} \right) \quad (3.19)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \frac{\tilde{USL} - \tilde{\mu}}{3\tilde{\sigma}} = \text{ÜBS} \left( \frac{u_1 - \mu_3}{3s_3}, \frac{u_2 - \mu_2}{3s_2}, \frac{u_3 - \mu_1}{3s_1} \right) \quad (3.20)$$

$$\tilde{C}_{pl} = \frac{\tilde{\mu} - \tilde{ASL}}{3\tilde{\sigma}} = \text{ÜBS} \left( \frac{\mu_1 - l_3}{3s_3}, \frac{\mu_2 - l_2}{3s_2}, \frac{\mu_3 - l_1}{3s_1} \right) \quad (3.21)$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min\{\tilde{C}_{pu}, \tilde{C}_{pl}\} \quad (3.22)$$

$\tilde{C}_{pl}$  ve  $\tilde{C}_{pu}$  değerlerini kıyaslayarak minimum olan değeri bulabilmek için bir bulanık sıralama yöntemi kullanılmalıdır.

Sonuçların bulanık sayılar olarak elde edilmesinden dolayı analizi yapan kişi sürecin yeterli olup olmadığının değerlendirilmesini yaparken bazı durumlarda zorluk çekebilmektedir. Bu sıkıntıyı gidermek amacıyla bulanık kural metodu bir sonraki alt bölümde süreç yeterliliğine uyarlanmıştır.

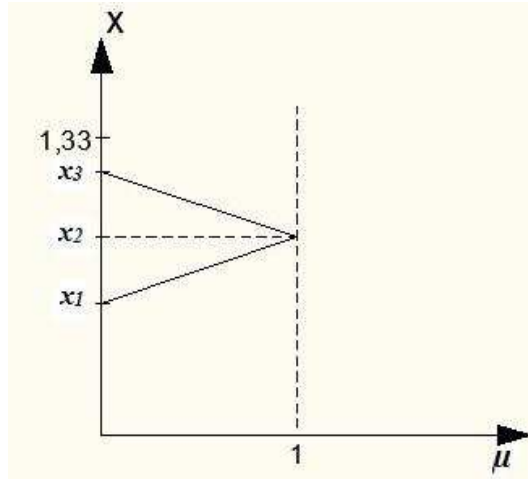
### 3.1.2.1. Süreç yeterliliği için bulanık kural metodu

Süreç yeterlilik indislerinin bulanık sayılar olarak elde edilmesi sürecin yeterliliğini değerlendirme konusunda bazı sıkıntılara neden olabilmektedir. Bu sıkıntılar yeterlilik indislerinin farklı durulaştırma yöntemlerinde farklı sonuçlar vermesinden, durulaştırmayla kaybedilen bilgilerden, bulanık sayı olarak elde edilen bulanık yeterlilik değerinin genişliğinin büyük olmasından ve bulanık sayı içerisindeki muhtemel değerlerin hem yeterli hem yetersiz olarak ifade edilebileceğinden kaynaklanmaktadır. Bu belirsizlikten doğan sorunun giderilmesi amacıyla bazı bulanık kurallar süreç yeterliliği için önerilmiştir. Oluşturulan bu yeni bulanık kurallar üçgen bulanık sayılar olarak ifade edilen süreç yeterlilik indislerine uygulanmıştır.

- i. Bulanık süreç yeterlilik indisleri  $\ddot{U}BS(x_1, x_2, x_3)$  olarak varsayılmıştır. Sürecin hatalı ürün oranı düşük şekilde üretim yapabilmesi ve “tatmin edici” olarak ifade edilebilmesi için geleneksel süreç yeterlilik indisinin değerinin en az 1.33 olması gerekmektedir. Oluşturulan yeni bulanık kurallar da bu değer baz alınarak geliştirilmiştir. Denklem (3.23-3.24)’te  $\ddot{U}BS$  olarak ifade edilen bulanık süreç yeterlilik indisleri için bulanık kurallar yer almaktadır.  $C_{C_p}$  bu çalışma için yeterlilik indisini değerlendirmek amacıyla tanımlanmış olan bir simgedir.

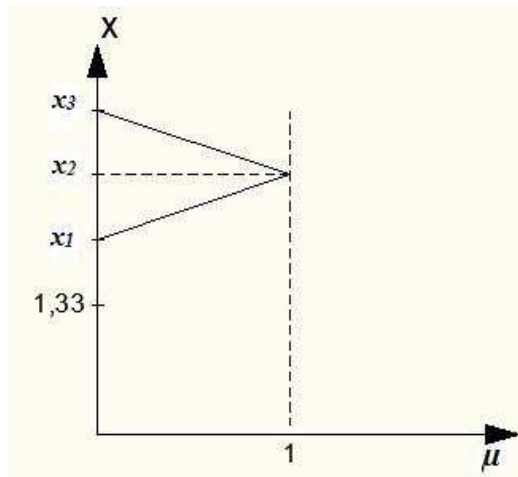
$$C_{C_p} = \begin{cases} 0, & \text{Eğer } x_3 \leq 1.33 \\ 1, & \text{Eğer } x_1 \geq 1.33 \\ \frac{x_3 - 1.33}{x_3 - x_1}, & \text{Eğer } (x_3 > 1.33 \wedge x_1 < 1.33) \end{cases} \quad (3.23)$$

Kural-1’de üçgen bulanık sayı olan süreç yeterlilik indisinin tamamının 1.33 sınır değerinin altında kaldığı durum gösterilmektedir. Bu durumda süreç “yetersiz” olarak ifade edilir (Şekil 3.5.).



Şekil 3. 5. Süreç yeterliliği ÜBS için Kural-1

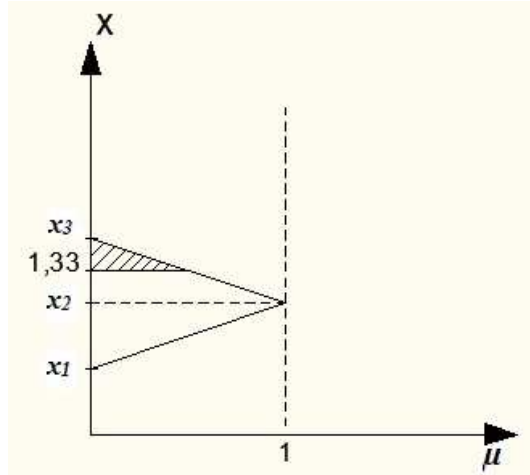
Kural-2'de yeterlilik indisinin 1.33 sınır değerini aştığı durum gösterilmektedir. Bu durumda süreç “tatmin edici” olarak ifade edilir (Şekil 3.6.).



Şekil 3. 6. Süreç yeterliliği ÜBS için Kural-2



Kural-3'te ise yeterlilik değerinin genişliğinin bir kısmının 1.33 sınır değerinin aştığı durum gösterilmektedir. Bu durumda sürecin yorumlanması yeterlilik indisinin 1.33'ü ne oranda aştığına göre "kısmen tatmin edici" ya da "kısmen yetersiz" olarak yorumlanabilir (Şekil 3.7.).



Şekil 3. 7. Süreç yeterliliği ÜBS için Kural-3

- ii. Süreç yeterlilik indisleri için bulanık kurallar işlendikten sonra sürecin yeterliliğinin yorumlanması Denklem 3.24'teki şekilde yapılır.  $\theta$ , bu çalışma için tanımlanmış, yeterlilik değerinin tatmin edici kategorisine dahil olabilmesi için 1.33 sınır değerini ne oranda aşması gerektiğini belirten bir sabittir. Bu oran her çalışmaya göre  $0 < \theta < 1$  arasında farklılık gösterebilir.

$$Yeterlilik = \begin{cases} \text{"Tatmin edici"}, & \text{Eğer } C_{C_p} = 1 \\ \text{"Yetersiz"}, & \text{Eğer } C_{C_p} = 0 \\ \text{"Kısmen yetersiz"}, & \text{Eğer } C_{C_p} \leq \theta \\ \text{"Kısmen tatmin edici"}, & \text{Eğer } C_{C_p} > \theta \end{cases} \quad (3.24)$$

Bulanık kontrol diyagramlarının, bulanık kontrol ifadelerinin ve bulanık yeterlilik indislerinin bulanık olarak değerlendirilmesi gösterildikten sonra bu süreçler bir uygulamaya üzerinde Bölüm 4'te anlatılmıştır.

## **BÖLÜM 4. UYGULAMA**

Uygulama öncelikle “yaklaşık” gözlem değerleri içeren bulanık sayılar üzerinden yapılacaktır. Üçgen bulanık sayılar kullanılarak, bulanık kontrol limitlerine sahip bulanık  $\bar{\tilde{x}} - \tilde{R}$  kontrol diyagramları oluşturulacaktır. Sürecin kontrol altında olup olmadığı bulanık kurallar yardımıyla test edilecektir. Bulanık spesifikasyon limitleri ile bulanık süreç yeterlilik analizi yapılacak, bulanık kurallar aracılığıyla sürecin değerlendirmesi yapılacaktır. Sonrasında, geleneksel yöntemlerden farklılıklarını ve avantajlarını göstermek amacıyla, kesin sayılar ile sürecin kontrol altında olup olmadığı incelenecek, süreç yeterlilik analizi yapılacak, bulanık ve geleneksel yöntemlerin sonuçları karşılaştırılacaktır.

### **4.1. Şirket Profili**

Sakarya’da faaliyet gösteren ve otomotiv parçaları üreten Isılsan Makine Sanayi Şirketi, 1984 yılında fason ısıl işlem atölyesi olarak üretim hayatına başlamıştır. 1990 yılında otomotiv yan sanayi firması olarak parça üretmeye başlamış, 2005 yılından itibaren de komple minibüs, midibüs ve otobüs gövdesi üretimine başlamıştır. Halen stabilizatör kolları, torsiyon çubukları, komple sac parçalar, boru kompleler, minibüs midibüs kapıları ve muhtelif parçalar üretmeye devam etmektedir.

### **4.2. Ürün Bilgisi**

Şirketin üretimini yaptığı parçalardan biri olan vites kolu,  $\bar{x} - R$  kontrol diyagramları kullanılarak süreç yeterlilik analizi çalışması için kullanılmıştır. Vites kolu için, boy kesme ve puntalama işlemlerinden sonra boy tamamlama işlemi yapılmaktadır. Bu uygulama, boy tamamlama ölçülerine ve bu işlemde çıkan parçaların örnekleme dayalı gözlem verilerine dayanmaktadır. Vites kolu boy uzunluğu için alt

spesifikasyon değeri 421 mm, üst spesifikasyon değeri 423 mm olarak tanımlanmıştır.

### 4.3. Bulanık $\tilde{x}$ – $\tilde{R}$ Diyagramlarıyla Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi

Vites kolu boy uzunluğu için yapılan ölçümlerde, işçi farklılıklarından ve ölçüm sistemindeki olası hatalı ölçüm değerlerinden dolayı gözlem sonuçları “yaklaşık” değerler olarak gösterilmiştir.

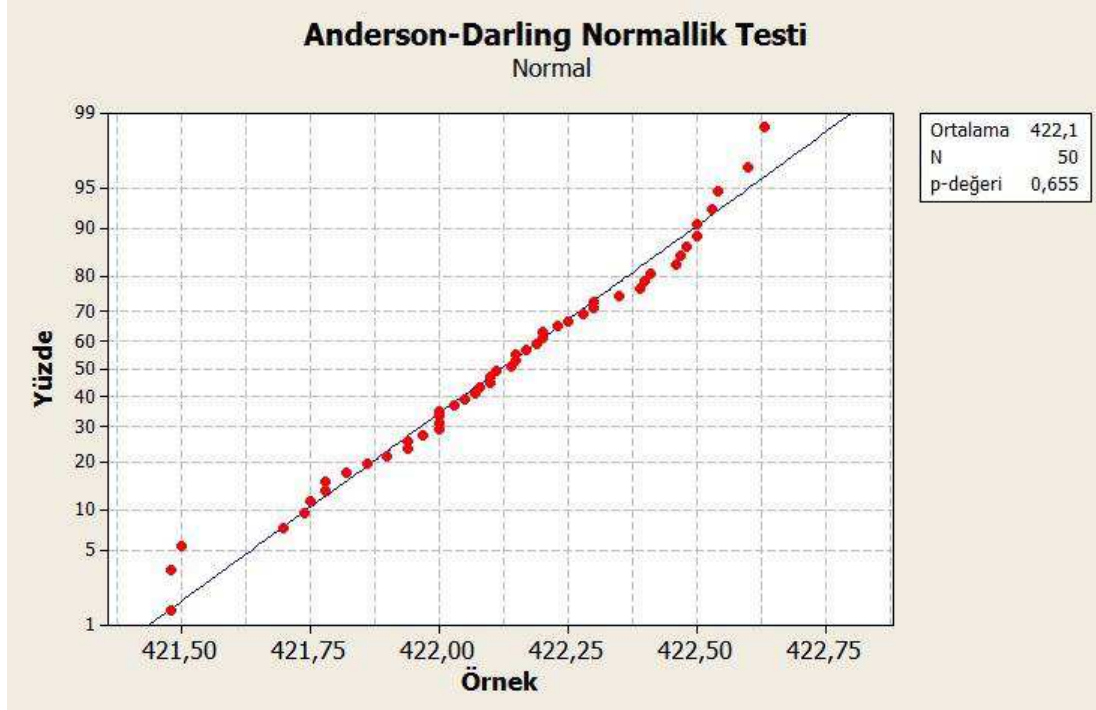
Belirli bir zaman aralığında süreçten rastgele olmak üzere, her biri 5 birimden oluşan 10 örnek grubu alınmış ve Tablo 4.1.’deki şekilde kaydedilmiştir.

Tablo 4. 1. Vites kolu boy uzunluğu için ölçüm değerleri (mm)

Örnek	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
1	422.070	421.500	421.700	422.280	422.400
2	422.000	422.150	422.100	422.170	422.150
3	422.350	421.780	422.500	421.750	422.200
4	421.900	422.460	422.110	422.000	421.480
5	422.050	422.200	422.030	422.250	422.600
6	422.530	421.480	421.780	422.230	422.390
7	422.140	421.820	421.940	421,940	422.100
8	422.500	422.410	421.860	422.480	422.080
9	422.000	422.630	422.190	422.300	422.300
10	421.970	422.000	422.540	422.470	421.740

Sürecin ilk olarak normal dağılıma uygunluk testi yapılacaktır, daha sonra kontrol şemaları oluşturulacaktır. Bu uygulama yapılırken kolaylık sağlaması açısından istatistiksel bir program olan Minitab 16’dan yararlanılmıştır. Normal dağılıma uygunluğu test etmek için Minitab 16 programında güvenilirliği yüksek olan Anderson-Darling normallik testi uygulanmıştır. Şekil 4.1.’de vites kolu boy uzunluğuna ait verilerin olasılık grafiği gösterilmektedir. Olasılık grafiği sayesinde verilerin kümülatif dağılım içerisinde yüzde payları ve nasıl dağıldıkları görülebilmektedir. Grafikte verilerin dağılım şeklinin ve  $p$  olasılık değerinin yorumlanmasıyla verilerin normal dağılıma uygunluğu tespit edilmiştir. Grafik üzerinde ölçümlerin belirli noktalarda toplanmadığı, bir doğru üzerine yayıldığı ve ölçümler arası mesafelerin küçük olduğu görülebilir.  $p$  değeri belirlenen güvenilirlik

düzeyinden, yani  $\alpha=0.05$  (%95 güvenilirlik düzeyi), büyük olduğu takdirde hipotez kabul edilip normallik testini geçecektir. Minitab 16'da yapılan testin sonucunda  $p$  değeri,  $\alpha$  değerinden büyük olduğu için sürecin normal dağılıma uygun olduğu söylenir.



Şekil 4. 1. Anderson-Darling normallik testi

Tablo 4.1.'deki "yaklaşık" olarak kaydı tutulan gözlem sonuçları, 0.005 mm bulanıklık değerine göre üçgen bulanık sayılara dönüştürülecektir. Bulanıklık değeri, ölçümler yapılırken işçi farklılığı ve ölçümdeki oluşabilecek hata oranı gibi nedenlere bağlı olarak oluşan farklılık değeridir. Yapılan çalışmalara göre farklılık gösterir.

Tablo 4.2., Tablo 4.1.'deki gözlem değerlerinin 0.005 bulanıklık değerine göre ÜBS'ye dönüştürülmüş halini göstermektedir. Bu aşamadan sonraki tüm işlemler ÜBS olarak ve bu tablodaki veriler kullanılarak yapılacaktır.

Tablo 4. 2. Vites kolu boy uzunluğu için ÜBS olarak gözlem değeri

Örnek	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
1	(422.065, 422.07, 422.075)	(421.495, 421.5, 421.505)	(421.695, 421.7, 421.705)	(422.275, 422.28, 422.285)	(422.395, 422.4, 422.405)
2	(421.995, 422, 422.005)	(422.145, 422.15, 422.155)	(422.095, 422.1, 422.105)	(422.165, 422.17, 422.175)	(422.145, 422.15, 422.155)
3	(422.345, 422.35, 422.355)	(421.775, 421.78, 421.785)	(422.495, 422.5, 422.505)	(421.745, 421.75, 421.755)	(422.195, 422.2, 422.205)
4	(421.895, 421.9, 421.905)	(422.455, 422.46, 422.465)	(422.105, 422.11, 422.115)	(421.995, 422, 422.005)	(421.475, 421.48, 421.485)
5	(422.045, 422.05, 422.055)	(422.195, 422.2, 422.205)	(422.025, 422.03, 422.035)	(422.245, 422.25, 422.255)	(422.595, 422.6, 422.605)
6	(422.525, 422.53, 422.535)	(421.475, 421.48, 421.485)	(421.775, 421.78, 421.785)	(422.225, 422.23, 422.235)	(422.385, 422.39, 422.395)
7	(422.135, 422.14, 422.145)	(421.815, 421.82, 421.825)	(421.935, 421.94, 421.945)	(421.935, 421.94, 421.945)	(422.095, 422.1, 422.105)
8	(422.495, 422.5, 422.505)	(422.405, 422.41, 422.415)	(421.855, 421.86, 421.865)	(422.475, 422.48, 422.485)	(422.075, 422.08, 422.085)
9	(421.995, 422, 422.005)	(422.625, 422.63, 422.635)	(422.185, 422.19, 422.195)	(422.295, 422.3, 422.305)	(422.295, 422.3, 422.305)
10	(421.965, 421.97, 421.975)	(421.995, 422, 422.005)	(422.535, 422.54, 422.545)	(422.465, 422.47, 422.475)	(421.735, 421.74, 421.745)

Gözlem değerlerinin ÜBS olarak ifade edilmesinden sonra kontrol diyagramlarının oluşturulmasına başlanır. Bunun için öncelikle her bir örneklem grubunun ortalama ve değişim aralığı değerleri Denklem (3.1) ve (3.2)'ye göre Tablo 4.3.'teki şekilde hesaplanır.  $\tilde{R}$  değerleri hesaplanırken örneklem grupları içerisindeki max ve min ölçüm değerlerinin belirlenmesi gerekir, bunu belirleyebilmek için Kwong-Bai durulaştırma yöntemi kullanılmıştır.

Toplam satırında gösterilen ortalamalar  $\tilde{\bar{x}} = \text{ÜBS}(422.115, 422.12, 422.125)$  ve  $\tilde{R} = \text{ÜBS}(0.671, 0.681, 0.691)$  Denklem (3.3) ve (3.4)'ten yararlanılarak bulunmuştur. Bu aşamadan sonra diyagramların alt ve üst kontrol limitlerinin hesaplanmasına geçilir (Denklem 3.5-3.11)(Örneklem büyüklüğü 5 olduğu için  $A_2 = 0.577, D_3 = 0, D_4 = 2.114$ 'tür.).

$$\widetilde{ÜKL}_{\bar{x}} = \text{ÜBS}(422.5022, 422.5129, 422.5237)$$

$$\widetilde{MÇ}_{\bar{x}} = \text{ÜBS}(421.7271, 422.12, 422.5129)$$

$$\widetilde{AKL}_{\bar{x}} = \text{ÜBS}(421.7163, 421.7271, 421.7378)$$

$$\widetilde{ÜKL}_R = \text{ÜBS}(1.4185, 1.4369, 1.4608)$$

$$\widetilde{MÇ}_R = \text{ÜBS}(0, 0.681, 1.4369)$$

$$\widetilde{AKL}_R = (0, 0, 0)$$

Tablo 4. 3. Ortalama ve değişim aralığı değerleri

Örnek	$\tilde{\bar{x}}$	$\tilde{R}$	Kontrol Sonucu $\tilde{\bar{x}}$	Kontrol Sonucu $\tilde{R}$
1	(421.985, 421.99, 421.995)	(0.89, 0.9, 0.91)	Kont. altında	Kont. altında
2	(422.109, 422.114, 422.119)	(0.16, 0.17, 0.18)	Kont. altında	Kont. altında
3	(422.111, 422.116, 422.121)	(0.74, 0.75, 0.76)	Kont. altında	Kont. altında
4	(421.985, 421.99, 421.995)	(0.97, 0.98, 0.99)	Kont. altında	Kont. altında
5	(422.221, 422.226, 422.231)	(0.56, 0.57, 0.58)	Kont. altında	Kont. altında
6	(422.077, 422.082, 422.087)	(1.04, 1.05, 1.06)	Kont. altında	Kont. altında
7	(421.983, 421.988, 421.993)	(0.31, 0.32, 0.33)	Kont. altında	Kont. altında
8	(422.261, 422.266, 422.271)	(0.63, 0.64, 0.65)	Kont. altında	Kont. altında
9	(422.279, 422.284, 422.289)	(0.62, 0.63, 0.64)	Kont. altında	Kont. altında
10	(422.139, 422.144, 422.149)	(0.79, 0.8, 0.81)	Kont. altında	Kont. altında
TOPLAM	(422.115, 422.12, 422.125)	(0.671, 0.681, 0.691)	Kontrol Altında	Kontrol Altında

Her biri bulanık küme olan kontrol limitlerinin arasında, tüm örneklem için tanımlanmış üyelik fonksiyonunun olabilmesi için, merkez çizgileri gerçekleşen süreç ortalamaları olarak alınmamış,  $\widetilde{M}_{\bar{C}_x} = \ddot{ÜBS}(421.7271, 422.12, 422.5129)$  ve  $\widetilde{M}_{\bar{C}_R} = \ddot{ÜBS}(0, 0.681, 1.4369)$  olarak seçilmiştir. Kontrol diyagramları için oluşturulan bulanık kurallar örneklemere uygulandığında sürecin kontrol altında olduğu Tablo 4.3.'teki gibi belirlenmiştir (Denklemler 3.12-3.14).

Süreç yeterlilik analizinin yapılabilmesi için gerekli önkoşul olan kontrol altında olma durumu da sağlandığı için artık bulanık süreç yeterlilik indislerinin hesaplanmasına ve sürecin yeterliliğinin yorumlanmasına geçilebilir.

Bulanık süreç yeterlilik analizi yapılırken gerekli olan alt ve üst spesifikasyon limitleri uygulama içerisinde “yaklaşık” olarak ifade edilmiş ve  $\ddot{ÜBS}$  olarak gösterilmiştir.

$$\widetilde{USL} = \ddot{ÜBS}(422.995, 423, 423.005)$$

$$\widetilde{ASL} = \ddot{ÜBS}(420.995, 421, 421.005)$$

Bulanık yeterlilik değerlerinin hesaplanabilmesi için sürecin bulanık ortalama ve standart sapmasının bilinmesi gereklidir.  $\tilde{\bar{x}} - \tilde{R}$  kontrol diyagramları için bulanık ortalama ve standart sapma değerleri Denklem (3.17) ve (3.18)'e göre hesaplanmıştır. (Örneklem büyüklüğü 5 için  $d_2=2.326$ 'dır.)

$$\tilde{\mu} = \ddot{ÜBS}(422.115, 422.12, 422.125)$$

$$\tilde{\sigma} = \ddot{ÜBS}(0.2885, 0.2928, 0.2971)$$

Sürecin spesifikasyon limitleri, ortalama ve standart sapması artık bilindiğine göre, bulanık süreç yeterlilik indisleri Denklem (3.19-3.21)'e göre aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\tilde{C}_p = \ddot{ÜBS}(1.116, 1.138, 1.161)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \ddot{ÜBS}(0.976, 1.002, 1.028)$$

$$\tilde{C}_{pl} = \ddot{ÜBS}(1.245, 1.275, 1.306)$$

$\tilde{C}_{pk}$  değeri belirlenirken, bu uygulamada Kwong-Bai durulaştırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin sonucuna göre gerçekleşen yeterlilik değeri  $\tilde{C}_{pk}$  aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$\tilde{C}_{pk} = \text{ÜBS}(0.976, 1.002, 1.028)$$

Analiz sonucunda yeterlilik indislerinin temsili değerlere dönüştürülmeden yorumlanabilmesi için, süreç yeterliliği için önerilen bulanık kural yöntemi uygulanacaktır (Denklem 3.23-3.24).

Bu kurallara göre yeterlilik indisleri yorumlanacak olursa bütün değerlerin “yetersiz” olduğu anlaşılır. Bulanık yeterlilik indisi  $\text{ÜBS}(x_1, x_2, x_3)$  olarak varsayılırsa,  $\tilde{C}_p = \text{ÜBS}(1.116, 1.138, 1.161)$  sayısında  $x_3$  değeri 1.33’ten küçük olduğu için süreç “yetersiz” kabul edilir.  $\tilde{C}_{pk} = \text{ÜBS}(0.976, 1.002, 1.028)$  değerinde de  $x_3$  değeri 1.33’ten küçük olduğu için süreç “yetersiz” kabul edilir. Son durumda ise sürecin yetersiz olduğuna karar verilmiştir. Süreç spesifikasyonlar arasında orantılı şekilde dağılmamıştır. Özellikle üst spesifikasyon limitini kullanma oranı çok yüksek olduğu için  $\tilde{C}_{pu}$  değeri daha düşük çıkmıştır.

#### 4.4. Geleneksel $\bar{x} - R$ Diyagramlarıyla Süreç Yeterlilik Analizi

Bu bölümde, bulanık analiz ile sonuçlarını karşılaştırmak için geleneksel süreç yeterlilik analizi çalışması yapılacaktır. Geleneksel süreç yeterlilik analizi için Tablo 4.1.’deki gözlem değerlerinin kesin sayılar olduğu varsayılarak işlemler yapılacaktır.



Tablo 4. 4.  $\bar{x}$  ve  $R$  değerleri

Örnek	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$\bar{x}$	$R$
1	422.070	421.500	421.700	422.280	422.400	421.99	0.900
2	422.000	422.150	422.100	422.170	422.150	422.114	0.170
3	422.350	421.780	422.500	421.750	422.200	422.116	0.750
4	421.900	422.460	422.110	422.000	421.480	421.99	0.980
5	422.050	422.200	422.030	422.250	422.600	422.226	0.570
6	422.530	421.480	421.780	422.230	422.390	422.082	1.050
7	422.140	421.820	421.940	421.940	422.100	421.988	0.320
8	422.500	422.410	421.860	422.480	422.080	422.266	0.640
9	422.000	422.630	422.190	422.300	422.300	422.284	0.630
10	421.970	422.000	422.540	422.470	421.740	422.144	0.800
TOPLAM						422.12	0.681

Her bir örneklem için ayrı ayrı hesaplanmış ortalama ve aralık değerleri olan  $\bar{x}$  ve  $R$  değerleri Tablo 4.4.'te gösterilmiştir. Bu  $\bar{x}$  ve  $R$  değerleri diyagram üzerindeki kontrol noktalarını oluşturacaktır. Toplam satırındaki 422.12 değeri sürecin genel ortalamasını ( $\bar{\bar{x}}$ ), 0.681 değeri sürecin değişim aralığının ortalamasını ( $\bar{\bar{R}}$ ) ifade etmektedir. Kontrol limitlerinin oluşturulmasında bu değerlerden faydalanılacaktır ve bu değerler kontrol diyagramlarının merkez çizgilerini (MÇ) oluşturacaktır.

Örneklem büyüklüğü 5 olduğu için, Tablo 2.1.'den  $A_2=0.577$   $D_3=0$  ve  $D_4=2.114$  olarak belirlenir. Kontrol diyagramı sabitlerinin seçilmesinden sonra sürecin kontrol limitleri hesaplanabilir. Minitab 16, sürecin kontrol limitlerini Denklem (2.1-2.6)'ya göre hesaplamış ve kontrol diyagramlarını oluşturmuştur (Şekil 4.2.).

$\bar{x}$  kontrol diyagramı için kontrol limitleri;

$$\bar{ÜKL} = 422.5128$$

$$MÇ = 422.12$$

$$AKL = 421.7272$$

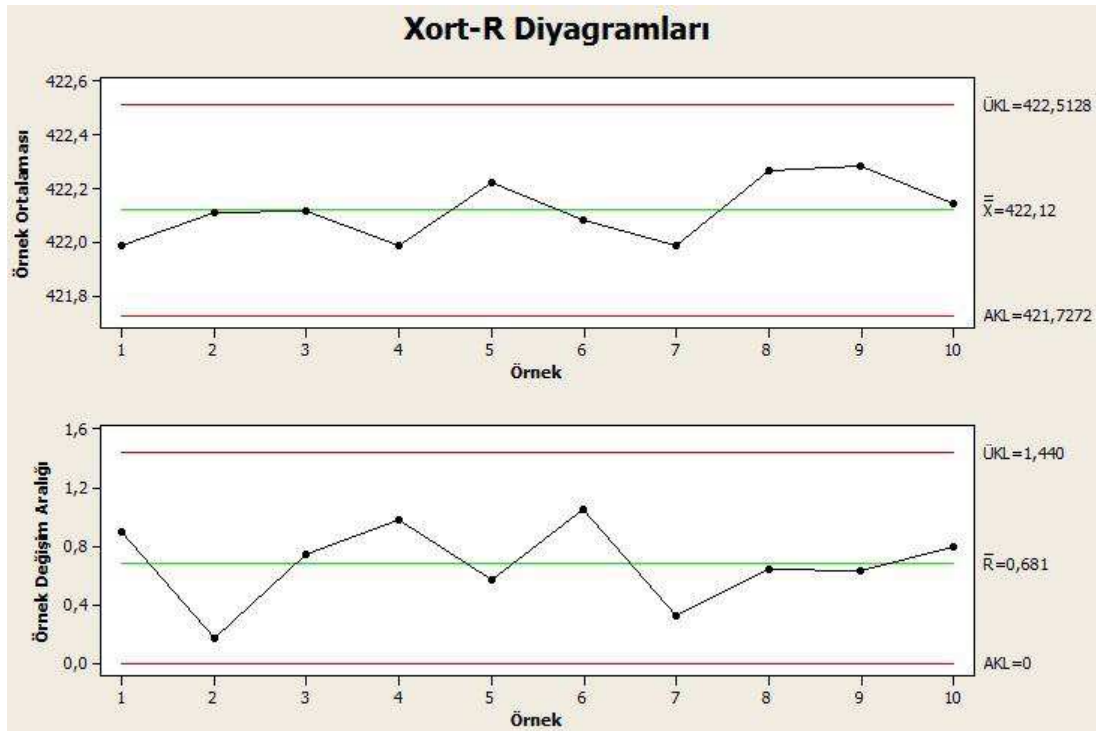
$R$  kontrol diyagramı için kontrol limitleri;

$$\bar{ÜKL} = 1.44$$

$$MÇ = 0.681$$

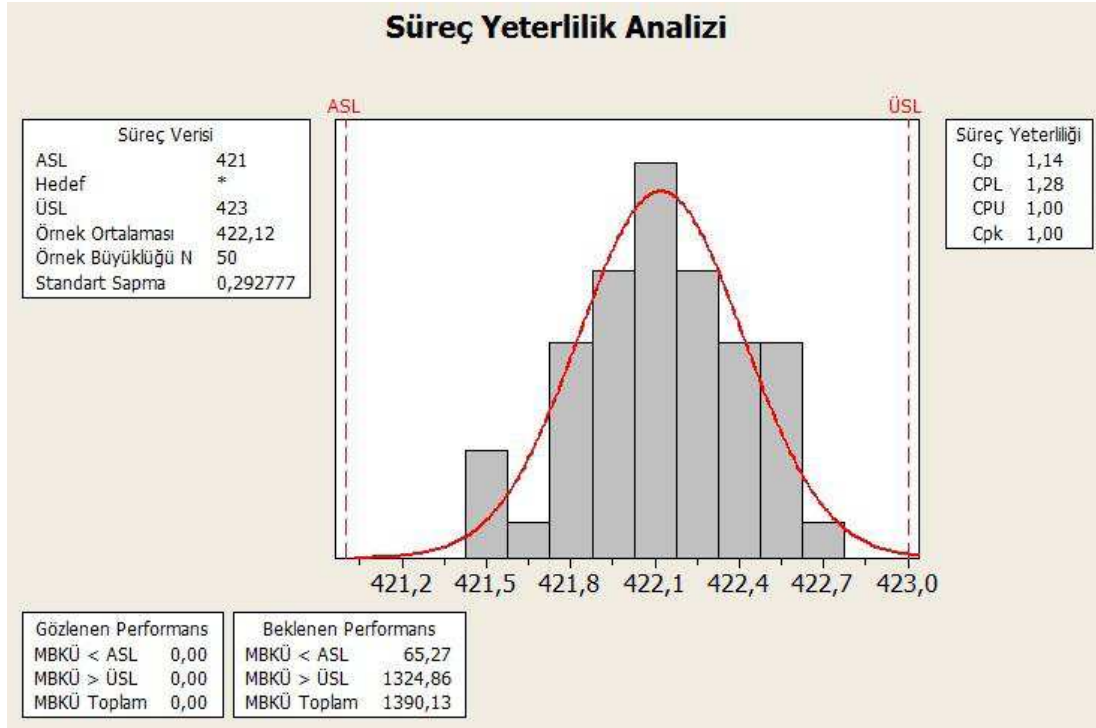
$$AKL = 0$$

Şekil 4.2.'deki grafikte noktalar örneklem gruplarını, üst çizgiler üst kontrol limitlerini, orta çizgiler süreç ortalamalarını, en alt çizgilerse alt kontrol limitlerini oluşturmaktadır. Diyagramlarda açıkça görüldüğü gibi limitler dışına çıkan herhangi bir kontrol dışı nokta bulunmamaktadır. Bütün noktalar alt ve üst kontrol limitleri içinde, herhangi bir döngü ya da trend bulunmamaktadır. Süreç istatistiksel olarak kontrol altındadır ve bu aşamadan sonra süreç yeterlilik analizine geçilebilir.



Şekil 4. 2.  $\bar{x}$ -R diyagramları

Örneklem büyüklüğü 5 olduğu için  $d_2=2.326$  olarak kontrol diyagramı sabitleri arasından belirlenir (Tablo 2.1.). Bu sonuca göre Denklem (2.2) ve (2.8)'den süreç ortalaması  $\bar{\bar{x}} = 422.12$  ve süreç standart sapması  $\sigma = 0.29277$  olarak bulunmuştur. Bu aşamadan sonra Denklem (2.11-2.16)'daki süreç yeterlilik indislerinin formülleri yardımıyla yeterlilik analizi yapılır.



Şekil 4. 3. Süreç yeterlilik analizi

Şekil 4.3., Minitab 16'da yapılan süreç yeterlilik analizinin sonuçlarını göstermektedir. Bu grafiğe bakıldığında histogram, yeterlilik indisleri ve milyon başına hatalı ürün miktarları (mbkü) rahatlıkla yorumlanabilir. Süreç yeterliliği sütunu incelendiğinde, sürecin potansiyel yeterlilik indisi  $C_p$  değerinin 1.14 olduğu görülür. Bu değer, sürecin kısmen yeterli ancak spesifikasyonları kullanma oranı yüksek olduğu anlamına gelir. Yani süreç ürünlerini spesifikasyon limitlerine yakın üretecektir. Bu da uygunsuz ürün oranının yüksek olacağı anlamına gelir. Sürecin gerçek yeterliliğini yansıtan değerlerden biri olan üst yeterlilik indisi  $C_{pu}=1.00$  olarak bulunmuş ve ÜSL için milyon başına hatalı ürün miktarı yaklaşık 1324.86 olarak yüksek çıkmıştır. Bu sürecin üst spesifikasyon limitlerine çok yakın üretim yaptığını gösterir.  $C_{pl}=1.28$  olarak bulunmuş ve ASL için milyon başına hatalı ürün miktarı 65.27 olarak hesaplanmıştır.  $C_{pu}$ 'ya oranla daha iyi sonuç vermiştir fakat hala yeterli denebilecek düzeyde değildir. Gerçek yeterlilik değeri  $C_{pk}$  ise 1.00 olarak hesaplanmıştır. İyi bir sürecin  $C_{pl}$  ve  $C_{pu}$  değerlerinin birbirine eşit olması beklenir. Bu süreçte birbirinden uzakta değer aldıkları görülmüştür. Süreçten beklenen performans ile gerçekleşen performans arasında fark vardır. Yani süreç

spesifikasyonlar arasında merkezlenmemiştir, her iki spesifikasyonu kullanma oranı da farklıdır.

Değerlendirmesi yapılan bu süreç gerekli düzenleme ve iyileştirmeler yapılmadığı sürece hatalı ürün yüzdesi yüksek ürün üretecektir. Üretimi devam eden bu sürecin daha yüksek kalitede üretim yapmasını sağlamak için gerekli kalite teknikleri kullanılarak süreçte iyileştirmeler yapılmalıdır.

#### 4.5. Geleneksel ve Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi Karşılaştırma

Gözlem değerlerinin, spesifikasyon limitlerinin ve varyansın kesin sayılar ve bulanık sayılar olması durumunda süreç yeterlilik analizinin nasıl etkilendiği Tablo 4.5. ile incelenmiştir.

Tablo 4. 5. Geleneksel ve bulanık süreç yeterlilik analizi karşılaştırması

	<b>Geleneksel Süreç Yeterlilik Analizi</b>	<b>Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi</b>
$\mu$	422.12	ÜBS (422.115, 422.12, 422.125)
$\sigma$	0.2928	ÜBS (0.2885, 0.2928, 0.2971)
$C_p$	1.14	ÜBS (1.116, 1.138, 1.161)
$C_{pu}$	1.00	ÜBS (0.976, 1.002, 1.028)
$C_{pl}$	1.28	ÜBS (1.245, 1.275, 1.306)
$C_{pk}$	1.00	ÜBS (0.976, 1.002, 1.028)

Geleneksel ve bulanık süreç yeterlilik analizinin sonuçları karşılaştırıldığında bulanık analizinin daha detaylı ve daha olasılıklı sonuçlar verdiği görülür. Geleneksel analiz kesin ve tek bir sonuç verirken, bulanık analiz ortalamasının, standart sapmanın ve yeterlilik değerlerinin alabileceği muhtemel sonuçları da göstererek daha detaylı bilgi sağlamıştır. Ayrıca bulanık analizde, üçgen bulanık sayıların üyelik derecelerinin  $\mu = 1$  olduğu değerler klasik analizinin sonuçlarını göstermektedir. Yani bulanık analiz ile hem klasik analiz gerçekleştirilmiş olur, hem de analiz sonuçlarının tüm olası değerler görülmüş olur. Bulanık analizinin sonuçlarının kullanılması tek bir sonuç veren klasik analizden daha kullanışlı olacaktır.

Gözlem değerleri bulanık ifadeler içerdiği için bulanık mantığın kullanılması daha uygun bir karar olmuştur. Ancak her iki analiz de yaklaşık aynı sonuçlar vererek, vites kolu boy uzunluğu için süreç yetersiz bulunmuştur. Yeterli bir süreçten beklenen performansta, düşük kusurlu ürün oranlarıyla çalışabilmek için spesifikasyon limitlerine doğru yaklaştıkça ürün miktarının azalması gerekmektedir. Bu süreçte üretim, spesifikasyonlara yakın gerçekleştiği için sürecin yeteneği yeterli değildir. Daha iyi bir analiz sonucu için sürecin iyileştirmelere ihtiyacı vardır. Gerekli tedbirlerle süreçteki değişkenlikler azaltılarak sürecin yeterli hale gelmesi sağlanabilir.

## BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmelerde kalite kontrol esnasında çıktı ölçümü yapılırken, ölçüm sisteminden ya da işçi faktöründen kaynaklanan bazı ölçüm hataları olabilmektedir. Sürecin performans ve yeteneğinin analizi yapılırken, gözlem verilerinin bu ölçüm hatalarından kaynaklı bulanık ifadeler içermesi analizin yapılmasında birtakım sıkıntılara yol açabilmektedir. Bulanık ifadelerin kullanıldığı durumlarda geleneksel süreç yeterlilik indislerinin kullanılması pek yerinde bir karar olmayacaktır. Geleneksel süreç yeterlilik analizinin bulanık durumlardaki eksikliğini gidermek amacıyla yeni bulanık süreç yeterlilik indisleri geliştirilmiştir. Bulanık süreç yeterliliğinin ölçülebilmesi için geleneksel analizde olduğu gibi sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olması gerekir. Sürecin istatistiksel kontrol altında olup olmadığı kontrol diyagramlarıyla belirlenebilmektedir. Ancak gözlem verileri bulanık ifadeler olduğunda, daha esnek kontrol sınırları sağlayan bulanık kontrol diyagramlarının kullanılması doğru olacaktır. Örneklem ortalamaları ve kontrol limitleri bulanık sayılar olduğu için bulanık kontrol diyagramları ile kontrol durumları daha detaylı şekilde incelenebilir. Sürecin kontrol altında olduğuna karar verildikten sonra ise bulanık tabanlı süreç yeterlilik analizi yapılabilir. Sürecin yeteneği hakkında yorum yapmamızı sağlayan bulanık yeterlilik indisleri hesaplanırken, spesifikasyon limitlerinin, ortalamanın ve standart sapmanın bulanık sayılar olması analizde daha esnek, daha detaylı bilgi sağlayacaktır. İndislerden elde edilen sonuçlar klasik analizdeki gibi tek bir sayıya odaklanmayacak, olması muhtemel değerleri de gösterecektir.

Süreç yeterlilik indislerinin bulanık sayılar olarak elde edilmesi, sürecin yeterliliğini değerlendirme konusunda birtakım zorluklara neden olabilmektedir. Bu zorluklar, durulaştırma işlemiyle temsili değerler elde ederek kaybedilen bilgiden, farklı durulaştırma yöntemlerinin farklı sonuçlar vermesinden, yeterlilik değerinin bulanık sayı genişliğinin büyük olmasından, bulanık yeterlilik değeri içerisinde hem yeterli

hem yetersiz denebilecek değerler bulunmasından kaynaklanabilir. Bu durumlarda, sürecin yeterli olup olmadığını belirlemek zor olabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı sürecin tercih edilen yeterlilik değerini karşılayıp karşılamadığı, bu çalışma kapsamında geliştirilen süreç yeterlilik indisleri için oluşturulmuş bulanık kurallar yardımıyla incelenebilir. Literatürdeki çalışmalarda çoğunlukla bulanık analiz, bulanık değerlerin temsili değerlere dönüştürülmesiyle gerçekleştirilmiştir, ya da sürecin yeteneğinin kararı kalite uzmanlarının yorumuna bırakılmıştır. Bu çalışmadaki süreç yeterlilik değerlendirmesi için geliştirilmiş olan bulanık kurallar ile literatürdeki bu eksiklik tamamlanmaya çalışılmıştır.

Geleneksel süreç yeterlilik analizi ve bulanık süreç yeterlilik analizi kıyaslandığı zaman bulanık analizin daha esnek ve daha olasılıklı sonuç verdiği görülür. Bulanık analiz önceden belirlenmiş olan bulanık sayı türüne göre sonuçlanması muhtemel değerleri gösterirken, geleneksel analiz tek bir sonuç üzerine odaklanır. Muhtemel sonuçları, esneme payları yoktur. Süreç ya kontrol altındadır ya da değildir, süreç ya yeterlidir ya da yetersizdir gibi katı sınırları vardır. Süreçte kesin olarak ifade edilemeyen değerler ve dilsel ifadeler olduğu zaman bulanık mantığın kullanımı daha elverişli olacaktır.

Bu tez çalışması içerisinde, kontrol diyagramları ve süreç yeterlilik analizi incelenmiştir. Süreç kontrolünün daha esnek sağlanabilmesi ve süreç yeterliliğinin daha detaylı analiz edilebilmesi için bulanık küme teorisi kullanılmıştır. Analiz sırasında, bulanık sayılar arasında en küçüğün ve en büyüğün bulunması haricinde durulaştırmaya ihtiyaç duymadan ve bulanık sayıları temsili değerlere dönüştürmeden süreç kontrolü ve yeterlilik analizi sağlayan bulanık kurallar geliştirilip uygulanmıştır. Gelecek çalışmalarda, farklı bulanık kurallar kontrol diyagramları ve yeterlilik indisleri için geliştirilip uygulanabilir, farklı tür bulanık sayılar için yeterlilik analizinde yeni bulanık kurallar geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

ABDOLSHAH, M., A fuzzy Taguchi loss-based process capability index. *International Journal of Quality Engineering and Technology*, 3(4), 303-318, 2013.

ABDOLSHAH, M., YUSUFF, R. M., HONG, T. S., ISMAİL, M. B., & SADİGH, A. N., Measuring process capability index Cpmk with fuzzy data and compare it with other fuzzy process capability indices. *Expert Systems with Applications*, 38, 6452-6457, 2011.

ALİZADEH, H. M., & GHOMİ, F., Fuzzy development of Mean and Range control charts using statistical properties of different representative values. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 22, 253-265, 2011.

CHAN, L. K., CHENG, S. W., & SPİRİNG, F. A., A new measure of process capability Cpm. *Journal of Quality Technology*, 20(3), 162-175, 1988.

CHEN, C. C., LAİ, C. M., & NİEN, H. Y., Measuring process capability index Cpm with fuzzy data. *Quality & Quantity*, 44(3), 529-535, 2010.

CHEN, K. S., & CHEN, T. W., Multi-process capability plot and fuzzy inference evaluation. *International Journal of Production Economics*, 111, 70-79, 2008.

EL-SHAL, S. M., & MORRİS, A. S., A fuzzy rule-based algorithm to improve the performance of SPC in quality systems. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 9, 207-223, 2000.

GÜLBAY, M., & KAHRAMAN, C., Bulanık kontrol diyagramı modellerinin geliştirilmesi: Direkt bulanık yaklaşım. *İtü dergisi*, 7(2), 95-105, 2008.

HANSS, M., *Applied Fuzzy Arithmetic: An Introduction with Engineering Applications*. Springer, 2005.

JURAN, J. M., & GODFREY, A. B., *Juran's Quality Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1999.

KAHRAMAN, C., TOLGA, E., & ULUKAN, Z., Using triangular fuzzy numbers in the tests of control charts for unnatural patterns. *IEEE Symposium on Emerging Technologies & Factory Automation*, 3, s. 291-298, 1995.



- KANAGAWA, A., TAMAKİ, F., & OHTA, H., Control charts for process average and variability based on linguistic data. *International Journal of Production Research*, 31(4), 913-922, 1993.
- KANE, V. E., Process capability indices. *Journal of Quality Technology*, 18(1), 41-52, 1986.
- KAYA, İ., *Altı sigma yaklaşımında bulanık süreç yeterliliği analizleri*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- KAYA, İ., & KAHRAMAN, C., Fuzzy process capability analyses: An application to teaching process. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 19, 259-272, 2008.
- KAYA, İ., & KAHRAMAN, C., Air pollution control using fuzzy process capability indices in six-sigma approach. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 15(4), 689-713, 2009.
- KAYA, İ., & KAHRAMAN, C., A new perspective on fuzzy process capability indices: Robustness. *Expert Systems with Applications*, 37, 4593-4600, 2010.
- KAYA, İ., & KAHRAMAN, C., Fuzzy process capability analyses with fuzzy normal distribution. *Expert Systems with Applications*, 37, 5390-5403, 2010.
- KAYA, İ., & KAHRAMAN, C., Process capability analyses based on fuzzy measurements and fuzzy control charts. *Expert Systems with Applications*, 38, 3172-3184, 2011.
- KLİR, G. J., & YUAN, B., *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- KWONG, C. K., & BAİ, H., Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach. *IIE Transactions*, 35, 619-626, 2003.
- LEE, H. T., Cpk estimation using fuzzy numbers. *European Journal of Operational Research*, 129, 683-688, 2001.
- LEE, K. H., *First course on fuzzy theory and applications*. Springer, 2005.
- MONTGOMERY, D. C., *Introduction to Statistical Quality Control*. ABD: Wiley, 2009.
- ÖZDEMİR, T., *İstatistiksel Kalite Kontrol*. Ankara: A.Ü.F.F. Döner Sermaye Yayınları, 2000.
- PARCHAMİ, A., & MASHİNCHİ, M., Fuzzy estimation for process capability indices. *Information Sciences*, 177, 1452-1462, 2007.

- PARCHAMÍ, A., MASHÍNCÍ, M., & MALEKÍ, H. R., Fuzzy confidence interval for fuzzy process capability index. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 17, 287-295, 2006.
- PARCHAMÍ, A., MASHÍNCÍ, M., YAVARÍ, A. R., & MALEKÍ, H. R., Process capability indices as fuzzy numbers. *Austrian Journal of Statistics*, 34(4), 391-402, 2005.
- PEARN, W. L., LÍN, G. H., & CHEN, K. S., Distributional and inferential properties of the process accuracy and process precision indices. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 27(4), 985-1000, 1998.
- PEARN, W. L., LÍN, P. C., & CHEN, K. S., Estimating process capability index  $C_{pmk}$  for asymmetric tolerances: Distributional properties. *Metrika*, 54, 261-279, 2001.
- ROSS, T. J., *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Wiley, 2010.
- SHEWHART, W. A., Quality control charts. *Bell System Technical Journal*, 593-603, 1926.
- ŞENTÜRK, S., & ERGİNEL, N., Development of fuzzy X-R and X-S control charts using  $\alpha$ -cuts. *Information Sciences*, 179, 1542-1551, 2009.
- TRAN, L., & DUCKSTEİN, L., Comparison of fuzzy numbers using a fuzzy distance measure. *Fuzzy Sets and Systems*, 130, 331-341, 2002.
- TSAÍ, C. C., & CHEN, C. C., Making decision to evaluate process capability index  $C_p$  with fuzzy numbers. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30, 334-339, 2006.
- WANG, J.-H., & RAZ, T., On the construction of control charts using linguistic variables. *International Journal of Production Research*, 28(3), 477-487, 1990.
- YUAN, Y., Criteria for evaluating fuzzy ranking methods. *Fuzzy Sets and Systems*, 43, 139-157, 1991.
- ZADEH, L. A., Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353, 1965.
- ZADEH, L. A., Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 100(1), 9-34, 1999.

## ÖZGEÇMİŞ

Halenur Soysal, 27.06.1988'de Zonguldak'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ereğli'de tamamladı. 2006'da Karadeniz Ereğli Anadolu Lisesi, Fen Bilimleri bölümünden mezun oldu. 2007 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünü 2011'de bitirdi. 2012'de Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans programına girdi.